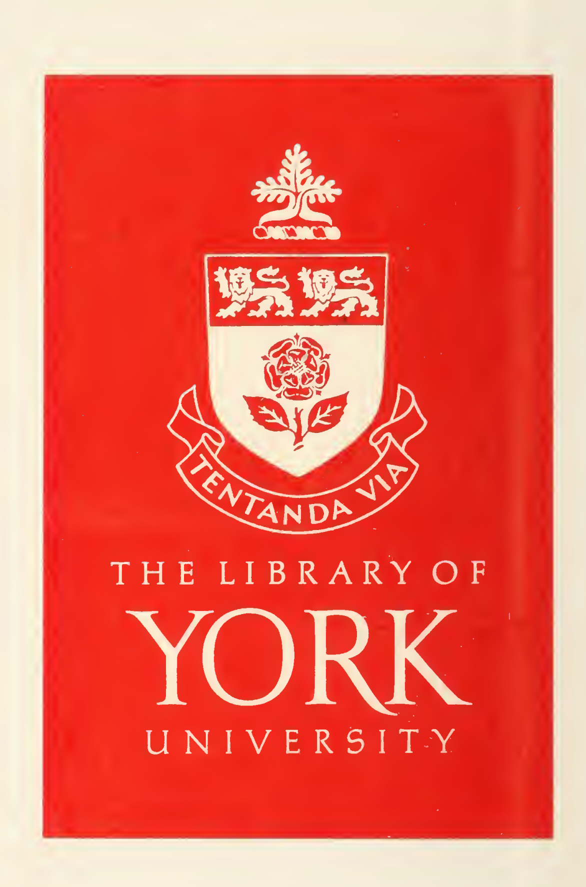
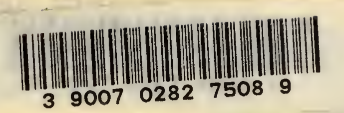



TENTANDA VIA
THE LIBRARY OF
YORK
UNIVERSITY



Date Due

ILL OCT 2 8 1988	
DIS NOV 1 1988	
APR 6 2001 STEACIE	
F.Rec'd APR - 7 2001	
APR 2 8 2001 STEACIE	
JUN 2 9 2001 ST DIS	



L'INTRODUCTION
DES THÉORIES DE NEWTON
EN FRANCE AU XVIIIE SIÈCLE

DU MÊME AUTEUR

Les physiciens hollandais et la méthode expérimentale en France au XVIIIe siècle, 1 vol. gr. in-8°, A. Blanchard, 1926.

Maupertuis. * **Etude biographique.**

** **L'œuvre et sa place dans la pensée scientifique et philosophique du XVIIIe siècle**, 2 vol. gr. in-8°, A. Blanchard, 1929.

(Ouvrages couronnés par l'Académie des Sciences. — Prix Binoux.)

L'introduction des théories de Newton en France au XVIIIe siècle. ** Après 1738. *(En préparation.)*

L'INTRODUCTION DES THÉORIES

DE

NEWTON

EN FRANCE AU XVIIIE SIÈCLE



AVANT 1738

PAR

PIERRE BRUNET

du C. International d'Histoire des Sciences
Professeur de l'Université
Docteur ès Lettres

PARIS
LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE ALBERT BLANCHARD
3 BIS, PLACE DE LA SORBONNE, 3 BIS
1931

PRÉFACE

Sans prétendre refuser à certaines pensées géniales l'originalité qui les distingue, nous n'estimons pas cependant que l'on soit autorisé à les considérer comme des intelligences, en quelque sorte, intemporelles, c'est-à-dire susceptibles d'apparaître à des époques indéterminées comme des phénomènes inexplicables et mystérieux, se réunissant, pour ainsi dire, par d'heureux hasards, au-dessus des siècles. Si la découverte est par nature imprévisible, parce que toute spontanée, elle n'est pas pour cela une sorte de création ex nihilo ; *nous n'allons pas certes jusqu'à en faire un résultat, ni une résultante ; mais nous croyons possible et nécessaire de la faire toujours reposer sur des assises antérieures très larges, dans lesquelles doivent se trouver compris, à côté de travaux féconds, d'autres moins évidemment utiles aux progrès, et aussi des tentatives infructueuses, voire des erreurs momentanément soutenues.*

Montucla se trompait, croyons-nous, lorsqu'il assurait qu'il n'y a d'intéressants pour l'historien des sciences que « ceux qui ont contribué par leurs travaux à en reculer les bornes » ; et d'Alembert ne paraît pas avoir développé une conception plus sûre de l'histoire des sciences, lorsqu'il prétendait la réduire au tableau des acquisitions, sinon définitives, au moins stables, au recensement de ce que les générations successives ont apporté de durable pour l'édification de la science. L'esprit qui anime de telles remarques est avant tout empreint du souci de faire apparaître les progrès, *tandis qu'à notre avis, ce qu'il importe avant tout de mettre en lumière, c'est le* développement *de la science, avec toutes les sinuosités qui, en en marquant les hésitations, en montrent aussi la continuité. « L'histoire ne ferait point assez en*

exposant les vérités découvertes, affirmait déjà Bailly (1), il faut peindre les difficultés, il faut surtout compter les efforts et les moyens... Le premier devoir de l'historien est d'être fidèle, il ne doit point cacher les vices de son héros : nos misères comme notre grandeur sont notre histoire... Ici le héros est l'esprit humain ; nous devons dire ses méprises et même ses erreurs, en même temps que nous montrons sa gloire ; c'est le tableau de ses faiblesses et de son énergie. »

Bien plus, ne se préoccuperait-on que de souligner les progrès, qu'il serait encore nécessaire d'insister sur les erreurs, dès que l'on voudrait dépasser un point de vue purement descriptif et s'élever, de la simple énumération des découvertes, à leur explication, c'est-à-dire à la détermination des conditions dans lesquelles elles sont apparues. Franklin a fait très judicieusement observer qu' « une mauvaise solution qu'on lit et dont on découvre les défauts donne souvent occasion à un lecteur ingénieux d'en trouver une plus parfaite. » (2) Et les exemples ne manqueraient pas en effet de découvertes qui ont été d'abord des opinions plus ou moins probables, sur lesquelles s'est exercée une sorte d'épuration, due aux remaniements successivement apportés, ou qui même doivent à des erreurs leur point de départ, et, pour ainsi dire, leur impulsion initiale.

Mais, si une découverte quelconque a toujours des antécédents plus ou moins nombreux, elle est d'autre part féconde, non seulement par elle-même et par ce qu'elle contient, mais aussi par les recherches qu'elle ne manque pas de susciter ; elle « ne se borne pas à augmenter la masse des faits connus et à leur donner plus de clarté ; presque toujours elle excite dans les esprits une vive fermentation, qui en prépare de nouvelles. » (3) En d'autres

(1) Bailly. — *Histoire de l'Astronomie moderne*, Paris, 1779, I, *Discours préliminaire*, p. XI-XII.

(2) Franklin. — *Expériences sur l'électricité*, trad. d'Alibard, 2e édition, I, p. 27

(3) Libes. — *Histoire philosophique des progrès de la physique*, Paris, 1810-1813, III, p. 184.

termes, après avoir été un aboutissement, la découverte devient un point de départ ; à la période d'élaboration, nous dirions volontiers de gestation, succède une période d'organisation, d'aménagement, de mise au point, d'accroissement.

Cependant cette alternance apparente, que nous invite à considérer l'opposition entre l'avant et l'après d'une découverte, si elle n'est pas absolument artificielle et arbitraire, ne se trouve pas moins fort difficile à établir dans la réalité, à cause précisément de la continuité des efforts et de la compénétration de ces périodes rythmiques, abstractions commodes, plus que déterminations vivantes de la pensée scientifique. En effet, comme nous l'avons déjà noté, l'élan donné à la recherche par une découverte n'est jamais limité à de simples commentaires sur cette vérité, ni à de stériles aménagements qui ne viseraient pas à l'avenir : la découverte faite suscite une marche en avant vers des découvertes nouvelles ; et par là la période qu'elle ouvre n'est pas seulement une période de mise au point, mais aussi une période d'élaboration et de gestation. En d'autres termes, la même période, selon qu'elle est rapportée, pour être qualifiée, à telle découverte à laquelle elle aboutit, ou à telle autre découverte qui lui a servi de point de départ, peut être considérée soit comme période d'élaboration, soit comme période d'organisation. Qu'est-ce à dire, sinon que, dans l'ensemble, il n'y a qu'un vaste mouvement, une spontanéité sans cesse en éveil, qui est création continue, un enchevêtrement complexe qui est la vie même.

S'il en est ainsi, l'historien des sciences est autorisé, à condition de ne pas vouloir donner à son point de vue d'autre valeur que celle d'une division commode, à opter entre deux manières de considérer une même période d'activité scientifique. Il peut, en se plaçant au moment où une découverte apparaît, déterminer, par une analyse rétrospective, les données sur lesquelles elle s'est construite, préciser quels travaux ont pu la faciliter, et comment ; bref rechercher dans les connaissances antérieures ces antécédents sur lesquels nous avons insisté plus haut. Ou bien, se reportant préalablement beaucoup plus loin en arrière, il peut refaire, avec

les savants de l'époque à étudier, le chemin même qu'ils ont parcouru en partant d'une découverte donnée. Ainsi, par exemple, pour étudier la pensée scientifique du XVIIIe *siècle, on pourrait fort bien considérer ce siècle comme la période d'élaboration du système de Laplace ; ce serait user de la première méthode ; mais il est également possible d'y voir la période de mise au point et d'établissement des théories newtoniennes ; cette seconde méthode est celle que nous avons choisie.*

La première des raisons qui ont guidé notre choix est qu'en procédant de cette manière, l'historien est plus directement sollicité à suivre pas à pas la marche de la pensée scientifique, parce qu'il refait le chemin parcouru dans le même sens. Certes, même en employant l'autre méthode, il pourrait toujours, dans l'exposition, transformer ses vues rétrospectives en une sorte de cheminement chronologique ; mais il lui serait difficile alors d'oublier le but auquel il doit aboutir ; et toute impatience de l'atteindre risquerait fort de se traduire, plus ou moins volontairement, par une sorte de mutilation, nécessairement arbitraire, d'une pensée trop riche, trop touffue ou simplement trop hésitante. Celui qui, au contraire, parcourt la route tracée, non pas pour en voir l'aboutissement, mais surtout pour en retrouver la direction, ne sera pas tenté, en en suivant les méandres, de s'impatienter jusqu'à chercher des raccourcis.

Mais il y a à notre choix une seconde raison. Toute période d'organisation est en même temps une période que nous pourrions appeler d'adaptation. En effet, toute découverte trouve en face d'elle une science déjà organisée, et, si, de ces connaissances antérieurement établies, un certain nombre a favorisé cette découverte, en lui ouvrant la voie directement, et ne peut par conséquent pas ensuite servir à lui barrer la route, il n'en est plus de même de tout un autre groupe que cette découverte anéantit, ou parce qu'elles se trouvent par elle rendues sans intérêt, sinon convaincues d'erreur, ou parce qu'à sa lumière elles apparaissent erronées. En résistant à leur propre destruction, les doctrines et les explications antérieures sont toujours, pour les découvertes,

des obstacles à leur établissement, des éléments dont l'inertie ou la résistance arrêtent la force d'expansion des idées nouvelles. Non seulement l'esprit humain est ainsi fait qu'en toutes choses il manifeste une tendance à la routine, qu'il idéalise sous les noms de tradition, de coutume, d'usage, etc., mais encore le groupement de disciples autour d'un maître, en favorisant la formation d'écoles, crée, même en sciences, des organismes prêts à défendre ce qu'ils considèrent comme la vérité. De là des rivalités, des discussions où les doctrines s'affrontent, où les compromis s'ébauchent, où ce que nous appelions plus haut l'adaptation se fait. D'Alembert considérait que ces discussions ne devaient pas plus que les erreurs entrer dans l'histoire des sciences (1) *; bien loin de partager cette opinion, nous pensons au contraire, qu'en leur y faisant place, nous serrerons de beaucoup plus près la vie même de la pensée scientifique et pourrons espérer en apporter une reconstitution, sinon intégrale, du moins aussi vaste que possible. C'est parce que la pensée scientifique est constamment prise dans des oppositions entre l'acceptation des explications nouvelles et les résistances pour les idées dans lesquelles elle voudrait s'installer qu'elle est toujours hésitante. Mais c'est cette hésitation qui est féconde, parce que c'est elle qui s'oppose à l'inertie et qui suscite l'effort.*

Les théories de Newton ont, au cours du XVIIIe *siècle, rencontré des résistances particulièrement violentes en France, parce qu'elles se heurtaient là à des doctrines cartésiennes solidement établies déjà. En entreprenant de reconstituer l'historique de l'introduction des théories newtoniennes en France, nous allons donc nous trouver dans l'obligation, pour appliquer la méthode que nous venons d'indiquer, de montrer avec quelle habileté, et aussi*

(1) « L'histoire de nos disputes, faisait-il remarquer (*Essai sur les éléments de philosophie ou sur les principes des connaissances humaines*, chap. II), montre l'abus des mots et des notions vagues, l'avancement des sciences retardé par des questions de nom, les passions sous le masque du zèle, l'obstination sous le nom de fermeté : elle nous fait sentir combien les contestations sont peu faites pour apporter la lumière. »

avec quelle ténacité, les disciples de Descartes rivalisèrent d'ardeur pour répondre aux objections soulevées par Newton et pour présenter la théorie tourbillonnaire sous le jour le plus favorable dans son application aux divers problèmes scientifiques alors considérés.

Nous aurions pu, semble-t-il, trouver dans la diversité même de ces problèmes les grandes divisions de notre ouvrage. Si nous avons préféré les chercher ailleurs, c'est pour des raisons qui tiennent encore à notre point de vue sur le développement de la pensée scientifique. Nous ne voulons pas prétendre qu'étudier l'évolution d'un problème scientifique déterminé ne soit pas chose réalisable ; nous reconnaissons au contraire bien volontiers qu'une telle étude peut être fort intéressante ; mais elle est surtout praticable lorsqu'elle est appliquée à une époque où l'idée au moins de la spécialisation a été introduite. Non pas que, même dans de telles conditions, on n'ait pas à se préoccuper bien souvent, pour éclairer tel ou tel point, de l'ambiance au milieu de laquelle se poursuivent les recherches et des répercussions qui peuvent se produire d'un autre domaine sur celui que l'on considère directement. Mais la nécessité de ces préoccupations devient telle dans les époques, comme le XVIII*e siècle, où la spécialisation n'a encore guère pénétré, qu'elles en arrivent à occuper presque le premier plan.*

D'ailleurs il arrive si fréquemment qu'un même ouvrage réunisse des remarques sur des problèmes fort différents, qu'il y aurait lieu, au cas où ces questions seraient envisagées dans des chapitres spéciaux, de ramener à trop de reprises l'examen d'un même travail. Ce serait créer, au point de vue de la chronologie une difficulté.

Mais le plus grave inconvénient, à notre avis, serait encore le risque couru de briser la continuité d'une pensée qui, en passant d'un domaine à un autre, n'abandonnait pas ses préoccupations essentielles. Il faut bien se rendre compte que, si parfois un certain nombre d'années s'écoulaient entre deux études sur un même point qui sont, à n'en pas douter, la suite logique l'une de l'autre,

c'est que ce temps était nécessaire pour l'apport de nouvelles données au problème, et que, durant cet intervalle, un autre problème, connexe en quelque manière à celui-ci, retenait l'attention. On risquerait, en développant parallèlement, en quelque sorte, l'historique des divers problèmes, de laisser supposer que la pensée scientifique procédait, pour ainsi dire, par bonds, par pulsations, ou plutôt par arrêts et par reprises, alors qu'il n'y avait pas en elle une telle discontinuité. En réalité, les cartésiens momentanément réduits au silence sur un point, attaquaient les newtoniens sur un autre, en attendant d'avoir trouvé une réponse à l'objection qu'ils ne perdaient pas de vue ; et les newtoniens, embarrassés par une question prématurée posée par les cartésiens, entraînaient provisoirement ceux-ci sur un autre terrain, où ils se sentaient plus solides. La discussion n'était que déplacée, mais non pas ralentie. Pour donner une idée de cette incessante mobilité et de cette intensité de vie présentées par la pensée scientifique, nous avons donc cru préférable de suivre à peu près strictement l'ordre chronologique, en distinguant seulement des périodes, suivant les caractéristiques reconnues à tel ou tel moment. Nous nous sommes réservé cependant d'élever de temps en temps le lecteur au-dessus du débat, auquel il se trouve mêlé aussi directement que possible, en intercalant quelques résumés, où les phases d'un même problème se trouvent méthodiquement regroupées, ce qui permet de suivre, pour ainsi dire, à travers les sinuosités de la courbe générale, le mouvement spécial imprimé à telle ou telle question. Tandis que l'ensemble est saisi dans un mouvement constamment progressif, c'est au contraire par de courts aperçus rétrospectifs que nous réunissons les points de repère différents qui jalonnent les méandres de la route.

Nous avons arrêté la première partie de cette étude historique à l'année 1738, au moment où la publication des Eléments de la Philosophie de Newton, *par Voltaire, imposa aux débats une tournure nouvelle, qui ne devait pas d'ailleurs longtemps subsister.*

L'introduction des théories de Newton en France au XVIIIe siècle

CHAPITRE PREMIER

Les premières influences et la résistance cartesienne (1700-1720)

1. — La physique cartésienne venait à peine de s'installer solidement en France, sous l'action prépondérante de Rohault (1), de Régis (2) et de Fontenelle (3), lorsque les premières répercussions des *Principia mathematica philosophiae naturalis* (4) vinrent jeter quelque doute sur la valeur de l'explication tourbillonnaire du monde, et par conséquent sur l'ensemble même de l'œuvre scientifique de Descartes, qui s'y trouvait si intimement lié. L'existence des tourbillons appa-

(1) *Traité de physique*, 1671. Cet ouvrage atteignait déja sa quatrième édition en 1682 (Paris, 2 vol. in-12) et en était à sa douzième en 1708 (Bruxelles, 2 vol. in-12).

(2) *Système de Philosophie*, 3 vol. in-4°. Paris, 1690.

(3) *Entretiens sur la pluralité des mondes*, Paris, 1686. Nous pouvons signaler, à côté de ces ouvrages, le *Lexicon rationale seu thesaurus philosophicus*, publié à Rotterdam en 1692 (1 vol. in-fol.), dans lequel Chauvin donnait, dans l'ordre alphabétique, un exposé complet des thèses cartésiennes. La deuxième édition est de Leuwarden, 1713. Gadrois avait fait paraître aussi en 1675 un *Système du Monde*, 1 vol. in-12, Paris.

(4) Newton les publia d'abord en 1687.

raissait, en effet, comme la conséquence logique de l'impulsion et du plein, eux-mêmes conditionnés par les vues de Descartes sur la nature de la matière.

Or, non seulement Newton employait des principes tout à fait différents, rétablissait l'existence du vide et considérait comme une nouvelle explication du mouvement dans les corps leur attraction mutuelle, mais il s'attaquait encore directement au système cartésien (1).

La proposition LII du Livre second des *Principia* établissait que « si une sphère solide tourne d'un mouvement uniforme, autour d'un axe donné de position, dans un fluide homogène et infini, que le fluide soit mû circulairement par cette seule impulsion, et que chaque partie de ce fluide continue uniformément dans son mouvement ; les temps périodiques des parties du fluide seront comme les carrés de leur distance au centre de la sphère. » (2)

Et le scholie précisait ainsi l'objection tirée de là : « Il est certain, par les observations, que les temps périodiques des planètes qui tournent autour de Jupiter sont en raison sesquiplée de leurs distances au centre de cette planète ; et la même règle a lieu pour les planètes qui tournent autour du soleil. Ainsi, cette règle étant observée assez exactement par toutes les planètes, autant que les observations astronomiques ont pu le faire voir jusqu'à présent, elle est une loi de la nature. Or, si les planètes qui tournent autour de Jupiter et du soleil étaient transportées par des tourbillons, ces tourbillons de-

(1) « Le système général de Descartes était le système dominant chez la plus grande partie des philosophes, qui ne laissaient pas, cependant, de bien sentir les difficultés qu'il renferme, lorsque M. Newton, ou donna plus de force à ces difficultés, ou en proposa de nouvelles, de sorte que les fondements de tout l'édifice cartésien parurent absolument renversés. » (FONTENELLE, *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1731, p. 92).

NOTA. — Toutes les références à l'*Histoire* et aux *Mémoires de l'Académie des Sciences* sont établies d'après l'édition in-12 d'Amsterdam.

(2) D'après la traduction de Mme du Châtelet, 2 vol. in-4°. Paris, 1759, I, p. 416.

vraient aussi observer la même loi en tournant. Mais les temps périodiques des particules des tourbillons sont en raison doublée de leurs distances au centre du mouvement : et cette raison ne peut être diminuée et devenir la raison sesquiplée, à moins que la matière du tourbillon ne soit d'autant plus fluide, qu'elle s'éloigne plus du centre, ou que la résistance, causée par le défaut de lubricité des parties du fluide n'augmente, par l'augmentation de la vitesse avec laquelle les parties du fluide sont séparées les unes des autres, dans une plus grande raison que celle dans laquelle cette vitesse elle-même augmente. Or, l'un et l'autre répugnent à la raison. Car les parties les plus épaisses et les moins fluides iraient à la circonférence, si elles ne pesaient pas vers le centre ; et quoique j'aie supposé pour les démonstrations, au commencement de cette section, que la résistance était proportionnelle à la vitesse, il est vraisemblable cependant qu'elle augmente dans une moindre raison que la vitesse. Ce qui étant accordé, il est certain que les temps périodiques des parties du tourbillon seront dans une plus grande raison que la raison doublée des distances au centre. Que si les tourbillons (comme c'est l'opinion de quelques-uns) se meuvent plus vite près du centre, et ensuite plus lentement jusqu'à un certain éloignement, et enfin de nouveau plus promptement près de la circonférence, il est certain qu'ils ne pourront observer ni la raison sesquiplée des distances, ni aucune proportion déterminée. C'est donc aux philosophes à voir comment ils pourront expliquer cette loi de la raison sesquiplée par le moyen des tourbillons. » (1)

Tandis que cette première objection tendait à mettre les lois

(1) *Op. cit.*, I, p. 423-424. Dans la proposition précédente, Newton, étudiant les mouvements dans le tourbillon cylindrique, établissait que « si un cylindre solide infiniment long tourne autour d'un axe donné de position par un mouvement uniforme, dans un fluide homogène et infini, que le fluide soit tourné en rond par cette seule impulsion, et que chaque partie du fluide continue uniformément dans son mouvement ; les temps périodiques des parties du fluide seront comme leurs distances de l'axe du cylindre ». (*Op. cit.*, p. 413.)

des tourbillons en opposition avec la règle de Képler sur le rapport des temps périodiques aux distances au centre, une seconde objection devait faire apparaître une opposition analogue entre les mouvements tourbillonnaires et la règle de Képler sur la proportionalité des aires au temps. La proposition LIII était ainsi formulée : « Les corps, qui sont emportés par des tourbillons et dont les orbites rentrent en elles-mêmes, sont de même densité que ces tourbillons, et se meuvent selon la même loi que leurs parties, quant à la vitesse et à la direction. » (1) Et le scholie placé à la suite de cette proposition tirait de là : « Il est donc certain que les planètes ne sont point transportées par des tourbillons de matière. Car les planètes qui tournent autour du soleil, selon l'hypothèse de Copernic, font leurs révolutions dans des ellipses qui ont le soleil dans un de leurs foyers, et elles parcourent des aires proportionnelles au temps. Mais les parties d'un tourbillon ne peuvent se mouvoir ainsi. » (2)

Pour le montrer, Newton supposait trois orbes décrits autour du soleil : le plus extérieur concentrique à cet astre, les deux intérieurs ayant leurs aphélies et leurs périhélies concordants. Un corps faisant sa révolution dans l'orbe extérieur concentrique au soleil, en décrivant des aires proportionnelles au temps, se meut d'un mouvement uniforme. Mais, d'après les lois astronomiques, un corps faisant sa révolution dans l'orbe placé entre cet orbe extérieur concentrique et l'orbe plus intérieur encore, doit se mouvoir plus lentement dans l'aphélie et plus vite dans le périhélie. Cependant, il devrait en être autrement suivant les lois de la mécanique tourbillonnaire. En effet, l'espace laissé entre l'aphélie de l'orbe le plus intérieur et le point correspondant de l'orbe extérieur concentrique au soleil étant plus étroit que l'espace laissé entre le périhélie du même orbe intérieur et le point correspondant de l'orbe extérieur, la matière du tourbillon circulant sur l'orbe intermé-

(1) *Op. cit.*, p. 424.
(2) *Op. cit.*, p. 426.

diaire devrait se mouvoir plus vite dans l'espace plus étroit et le corps révolvant aller de ce fait avec une vitesse plus grande dans l'aphélie que dans le périhélie. « Car plus l'espace par lequel une même quantité de matière passe dans le même temps est étroit, et plus elle doit avoir de vitesse. » Après avoir insisté sur ce qu'il y avait là de contraire aux observations, il concluait : « Ainsi l'hypothèse des tourbillons répugne à tous les phénomènes astronomiques, et paraît plus propre à les troubler qu'à les expliquer. »

Le scholie général du Livre III des *Principia* complétait la série des objections. Après avoir montré l'incompatibilité séparée de chacune des deux lois de Képler avec les lois de la mécanique tourbillonnaire, il restait à Newton de faire apparaître l'impossibilité d'accorder ensemble et d'admettre simultanément ces deux lois dans l'hypothèse des tourbillons. C'était précisément ce qu'il établissait dans la remarque suivante : « L'hypothèse des tourbillons est sujette à beaucoup de difficultés. Car afin que chaque planète puisse décrire autour du soleil des aires proportionnelles au temps, il faudrait que les temps périodiques des parties de leur tourbillon fussent en raison doublée de leurs distances au soleil.

« Afin que les temps périodiques des planètes soient en raison sesquiplée de leurs distances au soleil, il faudrait que les temps périodiques des parties de leurs tourbillons fussent en raison sesquiplée de leurs distances à cet astre. » (1)

Newton tirait une quatrième objection de la multiplicité des tourbillons, et de la nécessité d'en accorder entre eux les mouvements, spécialement ceux du tourbillon solaire avec ceux des tourbillons planétaires. En effet, « afin que les petits tourbillons qui tournent autour de Saturne, de Jupiter et des autres planètes, puissent subsister et nager librement dans le tourbillon du soleil, il faudrait que les temps périodiques des parties du tourbillon solaire fussent égaux. Or, les révolutions du

(1) *Op. cit.*, II, p. 174.

soleil et des planètes autour de leur axe, qui devraient s'accorder avec les mouvements des tourbillons, s'éloignent beaucoup de toutes ces proportions. » (1)

En supposant le mouvement tourbillonnaire causé par la rotation du soleil, une nouvelle difficulté se présentait, touchant la conservation de ce mouvement. Car « afin que le mouvement du tourbillon se conserve le même, il faut un principe actif par lequel le globe reçoive toujours la même quantité de mouvement qu'il imprime à la matière du tourbillon ; et sans un tel principe, il faut nécessairement que le globe et les parties intérieures du tourbillon, communiquant sans cesse leur mouvement aux extérieures, et n'en recevant point de nouveau, perdent leur mouvement peu à peu, et qu'ils cessent enfin de tourner. » (2)

Enfin, les comètes fournissaient à Newton deux autres objections. D'abord « les comètes ont des mouvements fort réguliers, elles suivent dans leurs révolutions les mêmes lois que les planètes ; et leur cours ne peut s'expliquer par des tourbillons. Car les comètes sont transportées par des mouvements très excentriques dans toutes les parties du ciel, ce qui ne peut s'exécuter si on ne renonce aux tourbillons. » (3)

Ensuite, si l'on considère que « par cette espèce de mouvement les comètes traversent très vite et très facilement les orbes des planètes » (4), on se trouve amené à conclure que ces orbes ne peuvent être parcourus par des tourbillons, qui, dans l'hypothèse de leur existence, apporteraient des résistances inconciliables avec les phénomènes. « C'est pourquoi les espaces célestes, dans lesquels les globes des planètes et des comètes se meuvent sans cesse librement en tout sens sans aucune diminution sensible de leur mouvement, doivent être vides de tout

(1) *Op. cit.*, II, p. 174.
(2) *Op. cit.*, I, p. 419.
(3) *Op. cit.*, II, p. 174.
(4) *Op. cit.*, II, p. 175.

fluide corporel, si on en excepte peut-être quelques vapeurs très légères et les rayons de lumière qui les traversent. » (1)

Telles étaient les principales objections faites par Newton contre les tourbillons; et leur importance ne pouvait échapper aux cartésiens, qui y portèrent en effet bien vite leur attention, sans toutefois songer pour cela à abandonner leur système. Par contre, ils adoptèrent aussitôt vis-à-vis des théories newtoniennes une attitude de réserve prudente, plus même, de défensive un peu jalouse, qui n'allait pas tarder à s'accentuer en une opposition de plus en plus vive.

Est-ce à dire que le newtonianisme n'ait pas pénétré en France, dès le premier tiers du XVIIIe siècle, malgré ces résistances? Il y aurait erreur à le penser, et la vivacité même de cette défense des cartésiens serait la meilleure preuve qu'ils considéraient le problème comme posé en des termes précis et l'introduction des théories newtoniennes non comme une possibilité, comme une éventualité plus ou moins lointaine, mais comme un fait actuel.

Il est à remarquer d'ailleurs que les cartésiens mêmes ne s'opposaient pas en bloc à tout le système newtonien : s'ils combattaient vivement la théorie de l'attraction et l'hypothèse du vide, sur d'autres points, ils ne faisaient pas de difficultés pour se rallier aux explications de Newton.

Les travaux de ce savant sur la lumière furent, au début, les plus appréciés par tous ceux que l'attraction et le vide continuaient à effrayer ou à laisser tout au moins hésitants. Nous pouvons emprunter à l'*Eloge de Newton*, par Fontenelle, des remarques qui témoignent d'une admiration sans réserve : il voyait dans *l'Optique* (2) une véritable « anatomie de la lumière » formant, dans son ensemble, « un corps d'optique si

(1) *Op. cit.*, I, p. 393. Remarquons que la considération des résistances, particulièrement importante lorsqu'il s'agissait des comètes, paraissait à Newton avoir encore quelque intérêt même dans le cas des planètes.

(2) La première édition, publiée en anglais, parut en 1704. Clarke en fit une traduction latine qui parut en 1706.

neuf qu'on pourra désormais regarder cette science comme presque entièrement due à l'auteur. »

Bien plus, ce livre, indépendamment des découvertes qu'il contenait, présentait, au point de vue de la méthode, un avantage incontestable, que Fontenelle se plaisait également à mettre en relief. En effet, « l'art de faire des expériences porté à un certain degré n'est nullement commun. Le moindre fait qui s'offre à nos yeux est compliqué de tant d'autres faits, qui le composent ou le modifient, qu'on ne peut sans une extrême adresse démêler tout ce qui y entre, ni même, sans une sagacité extrême, soupçonner tout ce qui peut y entrer. » (1) Or, « quand on voudra interroger la nature par les expériences et les observations, il la faudra interroger comme M. Newton, d'une manière aussi adroite et aussi pressante. Des choses qui se dérobent presque à la recherche par être trop déliées, il les sait réduire à souffrir le calcul, qui ne demande pas seulement le savoir des bons géomètres, mais encore plus une dextérité particulière. » (2)

Certes, même avant la publication de cet ouvrage, l'Académie des Sciences de Paris n'avait pas hésité à faire de Newton un de ses associés étrangers, dès qu'en 1699 son règlement lui avait laissé la possibilité d'avoir de tels membres. Mais, après comme avant, et même à la suite des appréciations élogieuses dont les savants français saluèrent l'*Optique*, la plupart des Académiciens, et non des moindres, n'en restèrent pas moins partisans convaincus de la supériorité du cartésianisme dans l'ensemble.

Condorcet fait remarquer que « l'ancienne Académie s'est fort occupée, dans ses premières années, de la cause de la pesanteur, ce qui semble prouver que beaucoup de savants soutenaient le système de Descartes et que très peu y croyaient. » (3). Il

(1) *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1727, p. 222.
(2) *Op. cit.*, p. 225.
(3) *Eloge de Frénicle.*

ne nous paraît guère possible cependant de généraliser cette remarque, pas plus en l'étendant à de nombreux académiciens sur la question de la pesanteur, qu'en concluant par analogie qu'il devait en être de même sur d'autres points, et que le cartésianisme de beaucoup était par conséquent plus une attitude qu'une conviction.

En effet, Fontenelle, Remond de Montmort, Cassini, Saurin, Saulmon, puis Dortous de Mairan, Privat de Molières et Réaumur suffiraient à montrer combien les théories de Descartes furent jalousement gardées par ses disciples.

« Il a fallu plus d'un demi-siècle, nous apprend Maupertuis (1), pour apprivoiser les Académies du continent avec l'attraction. Elle demeurait renfermée dans son île ; ou, si elle passait la mer, elle ne paraissait que la reproduction d'un monstre qui venait d'être proscrit : on s'applaudissait tant d'avoir banni de la philosophie les qualités occultes, on avait tant de peur qu'elles revinssent, que tout ce qu'on croyait avoir avec elles la moindre ressemblance effrayait ; on était si charmé d'avoir introduit dans l'explication de la Nature une apparence de mécanisme, qu'on rejetait sans l'écouter le mécanisme véritable qui venait s'offrir. »

Cette attitude n'était pas seulement d'ailleurs celle des Académiciens. Nous savons par Fontenelle que Saurin, qui collabora au *Journal des Savants* de 1702 à 1708, était « bien convaincu que les vrais philosophes doivent faire tous leurs efforts pour conserver les tourbillons de Descartes. » (2) Et, d'une façon générale, on ne pensait guère autrement dans le groupe des rédacteurs du *Journal de Trévoux*, où la plupart des collaborateurs rivalisaient de zèle pour le cartésianisme.

(1) *Lettre XII. Sur l'attraction*, in *Œuvres*, II, p. 284.

(2) *Eloge de Saurin*, in *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1737, p. 159. Cette étude montrera à bien des reprises que beaucoup d'autres collaborateurs du *Journal des Savants* n'étaient pas moins prévenus en faveur de la supériorité des explications cartésiennes.

2. — « Le premier et peut-être le meilleur ouvrage qui ait été fait pour défendre les tourbillons » est, de l'avis de D'Alembert (1), celui que publia, en 1707, à Lyon, l'abbé Villemot, sous le titre de *Nouveau système ou nouvelle explication du mouvement des planètes.* « D'abord, nous apprend l'auteur, dans la Préface de son ouvrage (2), j'ai été convaincu en général de l'existence des tourbillons et il m'a semblé qu'on en avait une démonstration dans la circulation de la matière solaire ; outre les autres preuves dont on se sert ordinairement pour les établir. Mais, venant à considérer en particulier le mouvement des corps entraînés par la matière de notre tourbillon, il ne m'a jamais été possible de comprendre que les planètes fussent emportées avec une vitesse différente de celle du fluide qui les environne, et que selon la comparaison de Descartes et de la plupart des Cartésiens, elles fussent comme des bateaux qui vont toujours plus lentement que le courant de la rivière qui les entraîne. Au contraire, je voyais avec évidence que les planètes et le fluide devaient suivre le même mouvement, et qu'ainsi la vitesse du fluide était comme démontrée à l'œil par celle des planètes. Or, comme la règle du problème de Képler nous a appris les proportions que les planètes gardent entre elles dans leurs révolutions et dans leurs

(1) Art. *Tourbillons* dans l'*Encyclopédie* et aussi art. *Cartésianisme.* Ce n'est pas l'opinion de J. Bernoulli, ni celle de Leibniz. Le premier estime que Villemot devait avoir un mince bagage de géométrie et le place au nombre de ceux qui montrent nettement qu'ils ne connaissent pas les lois de la mécanique. (Lettre du 10 décembre 1710. *Leibnitii et Johan Bernoulli commercium philosophicum et mathematicum.* Lausanne et Genève, 2 vol. in-4°, 1745, II, p. 240). « Moi non plus, répond Leibniz dans sa lettre du 28 février 1711 (*op. cit.*, p. 244), je ne fais pas grand cas de l'opuscule de Villemot, dans lequel je n'ai pu trouver l'ombre d'une démonstration. Et je m'étonne que Fontenelle ait pensé que ces sornettes étaient quelque chose. » Bien que l'on ne puisse considérer que ces jugements aient été dictés par quelque complaisance à l'égard des thèses newtoniennes, puisqu'ils émanent de cartésiens, nous ne pouvons, sur leur foi, nier l'influence, en France, au moins, de la *Nouvelle explication du mouvement des planètes.*

(2) P. III à V.

distances, et que cette règle a été confirmée par les observations de l'illustre M. Cassini sur les satellites de Jupiter et de Saturne, je jugeais que toutes les sphères de notre tourbillon devaient garder ces mêmes proportions dans leurs mouvements.

« Ce fut l'universalité de cette règle qui me fit conclure qu'un ordre si constant ne pouvait dépendre que d'un principe commun à tout ce qui se meut circulairement. Pour découvrir ce principe avec moins d'embarras, j'examinerai seulement deux points d'un fluide homogène mûs circulairement autour d'un même centre avec différente vitesse. Quelques réflexions sur la nature du mouvement circulaire me firent entrevoir quelle devait être la proportion des périphéries décrites avec les vitesses. Mais ce qui n'était d'abord que simple conjecture, me parut dans la suite un principe fondé sur des démonstrations géométriques. Aussitôt je fis l'application de ce principe, et j'eus le plaisir de résoudre en deux lignes le problème de Képler par la voie de l'équation. »

Ainsi, pour répondre à cette objection, déjà faite par Newton et ses disciples, d'après laquelle la circulation tourbillonnaire, calculée d'après les principes de la mécanique, ne s'accorderait pas avec la loi de Képler sur les temps périodiques, Villemot renonçait pour la première fois à chercher la solution de la difficulté dans une sorte d'indépendance relative des planètes par rapport au fluide (1), et s'efforçait au contraire de plier, par des méthodes nouvelles de calcul, les résultats de la mécanique aux observations, confirmées par le calcul, résumées dans la loi de Képler. Tout devait de cette manière se trouver en parfaite concordance ; et le résultat ainsi obtenu paraissait non moins important que nouveau, fort commode aussi, puisque tout reposait en définitive sur un principe.

(1) « Les planètes se meuvent avec la même vitesse réelle que les sphères par lesquelles elles sont entraînées ; car, étant suspendues dans le fluide de leurs sphères, sans aucun mouvement progressif qui leur soit propre et sans aucun appui, il est impossible qu'elles aient une vitesse différente. » (*Op. cit.*, p. 42).

Ce principe fondamental est énoncé ainsi : « Plusieurs mobiles égaux qui font des circulations premières, chacun avec différents degrés de vitesse, décrivent des périphéries qui sont entre elles comme les carrés des vitesses avec lesquelles ces périphéries sont décrites. » (1) Un des corollaires de ce principe établissait que « les forces centrifuges des mobiles qui circulent sont toujours entre elles comme les carrés des vitesses de ces mobiles divisés par leurs périphéries ou par leurs diamètres. » (2)

A ce principe, Villemot ajoutait une hypothèse : « La matière du grand tourbillon qui comprend toutes les planètes ayant d'abord été créée fluide, je suppose que Dieu a imprimé, non à toute cette vaste étendue de matière, mais seulement à une portion sphérique, un mouvement circulaire très rapide autour d'un axe commun ; que ce mouvement a été distribué également à toutes les parties de cette matière ; et qu'ensuite il s'est communiqué à tout le reste du grand tourbillon, suivant les lois de la communication du mouvement.

« Il me semble qu'on ne peut imaginer une hypothèse plus simple, puisqu'on ne suppose qu'une certaine quantité de mouvement déterminé par la sagesse infinie du créateur, qui a prévu que d'un tel degré de mouvement imprimé à une telle portion de matière devaient résulter tous les autres mouvements que nous admirons dans les cieux et dans les planètes. » (3)

Cependant, malgré la vraisemblance donnée à cette hypothèse par sa simplicité et par sa fécondité, elle n'était au fond nécessaire, de l'avis même de Villemot, que pour rendre plus

(1) *Nouvelle explication*, p. 8. Les circulations premières dont il est ici question sont « celles des mobiles qui circulent dans un fluide homogène et desquelles on ne peut augmenter ou diminuer la vitesse, sans faire décrire à ces mobiles de plus grands ou de plus petits cercles. » (*Op. cit.*, p. 8).

(2) *Op. cit.*, p. 20. Villemot, en énonçant ici un théorème de Newton, le signale comme tel ; mais la préface précise que cet accord n'a été constaté qu'après coup, le livre de Newton « très rare en ce pays » n'ayant été entre les mains de l'auteur de la *Nouvelle explication* qu'après la composition de son propre ouvrage.

(3) *Op. cit.*, p. 30.

sensible l'application de son principe. « Mais, indépendamment de toute hypothèse, continue-t-il dans la *Préface*, en considérant le mouvement déjà distribué dans l'état où le monde est aujourd'hui, il ne pouvait y avoir entre les sphères célestes d'autres proportions que celles qui résultent de mon principe, et dont je fais voir que dépend l'équilibre de l'univers, aussi bien que tous les mouvements des cieux. »

En effet, Villemot tirait de son principe non seulement la confirmation de la proportion, selon la règle de Képler, des temps périodiques aux distances au centre, mais encore la démonstration du problème de Ptolémée sur le calcul des temps mis par une planète à parcourir des arcs semblables dans son aphélie et dans son périhélie, et de plus l'établissement d'une équation permettant de comprendre l'équilibre de l'Univers, en apparence compromis par les forces centrifuges. Si l'on considère en effet que la règle de Képler donne les vitesses réelles des planètes en raison renversée des racines carrées de leur distance au soleil, il semble que la sphère inférieure ayant, par suite de sa vitesse plus grande, plus de force centrifuge que la sphère supérieure, devrait tendre à s'échapper vers les extrémités du tourbillon, et par ce mouvement ramener la sphère supérieure à sa place. Cependant, d'après Villemot, malgré que les forces centrifuges de chaque point soient entre elles inversement proportionnelles aux carrés des distances, il n'en reste pas moins que l'équilibre ne peut être rompu, parce que ces forces, pour être exactement évaluées, doivent être multipliées par les surfaces sphériques, proportionnelles elles-mêmes aux carrés des rayons. On conçoit dès lors qu'il se produit une compensation dans les produits entre le surplus de force centrifuge résultant de la vitesse plus grande dans les sphères inférieures et l'influence de la plus grande surface dans les sphères supérieures.

« Mais, remarquait Fontenelle (1), l'équilibre de M. Villemot,

(1) *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1707, p. 126-127.

quoique imaginé fort spirituellement, n'est pas sans difficulté. On lui peut opposer que, malgré l'égalité des forces centrifuges de deux surfaces sphériques, prises chacune dans leur totalité, il suffit, pour confondre tout, que chaque point de la sphère inférieure ait plus de force centrifuge que chaque point correspondant de la supérieure; car, puisque ces points composent un fluide, et n'ont nulle liaison ensemble, chacun des plus forts doit s'échapper pour aller prendre la place du plus faible qui lui répond, et la force de la surface supérieure totale n'ajoute rien à celle de chacun de ses points, qui est détaché de tout autre. »

Un moyen s'offrait d'échapper à la difficulté ; et, s'il devait être demandé encore à la théorie des forces centrales, ce recours pouvait paraître d'autant plus naturel qu'à bien des égards les calculs de Villemot ne sortaient guère du cadre de cette théorie.

3. — Cette théorie des forces centrales avait été renouvelée (1) récemment par le marquis de l'Hôpital (2) à propos d'un problème proposé par Bernoulli : trouver dans un plan vertical une ligne courbe, telle qu'un corps qui la décrirait descendant librement, et par son propre poids, la pressât toujours dans chacun de ses points avec une force égale à sa pesanteur absolue. Ce qui n'était d'abord qu'un acheminement à la solution du problème de Bernoulli avait en effet bien vite passé pour plus important que cette solution même ; car, après avoir trouvé que, dans le cas d'un mobile d'une pesanteur déterminée se mouvant uniformément suivant un cercle, la pesanteur est à la force centrifuge comme le rayon du cercle décrit par le mobile est au double de la hauteur d'où il faudrait que fût tombé ce mobile pour acquérir la vitesse qu'il a, de l'Hôpital en avait tiré divers corollaires importants.

(1) On peut la faire remonter à Huygens (*Horologium oscillatorium*). Newton l'avait ensuite approfondie dans ses *Principia*.

(2) *Solution d'un problème physico-mathématique*, in *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1700, p. 12.

Puisque les hauteurs d'où les corps tombent sont toujours comme les carrés des vitesses qu'ils ont acquises en tombant, si l'on prend d'ailleurs la pesanteur pour constante, ou pour 1, l'expression de la force centrale est le carré de la vitesse divisé par le rayon du cercle.

Pour que la force centrifuge d'un corps soit égale à sa pesanteur, il faut que la vitesse dont il décrit son cercle soit égale à celle qu'il aurait acquise en tombant d'une hauteur qui serait la moitié du rayon de ce cercle.

Si deux corps égaux décrivent différents cercles avec des vitesses égales, leurs forces centrifuges sont en raison renversée des rayons des cercles, c'est-à-dire, plus grandes en même raison que les cercles sont plus petits.

Si deux corps égaux décrivent des cercles égaux avec des vitesses inégales, leurs forces centrifuges sont comme les carrés de leurs vitesses.

Si deux corps inégaux décrivent des cercles égaux avec des vitesses égales, les forces centrifuges sont comme les pesanteurs.

Cependant, le marquis de l'Hôpital n'avait considéré la force centrale que dans le cercle, tandis que Varignon, en envisageant la même année la question (1), avait rendu la théorie beaucoup plus générale en l'appliquant à toutes les courbes. Il avait été bien plus loin en déterminant les conséquences astronomiques de ses calculs sur ce point (2). Il avait établi ainsi que les

(1) *Du mouvement en général par toutes sortes de courbes; et des forces centrales, tant centrifuges que centripètes, nécessaires aux corps qui les décrivent*, in *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1700, p. 113.

(2) *Des forces centrales ou des pesanteurs nécessaires aux planètes pour faire décrire les orbes qu'on leur a supposées jusqu'ici*, in *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1700, p. 313. Varignon avait apporté encore une *Autre règle générale des forces centrales, avec une manière d'en déduire et d'en trouver une infinité d'autres à la fois* (*Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1701, p. 27) ; puis, pour tenir compte de l'interaction des planètes entre elles, il avait complété sa théorie dans un mémoire : *Des courbes décrites par le concours de tant de forces centrales qu'on voudra, placées à discrétion entre elles et par rapport aux plans de ces mêmes courbes* (*Mémoires*

forces nécessaires au corps mû pour décrire un orbe quelconque d'un mouvement uniforme doivent être en raison réciproque des rayons correspondants de la développée de cette courbe. Quant au rapport de ces forces centrales avec les pesanteurs, il était parvenu à l'exprimer dans la règle suivante : « Comme le produit d'un petit arc quelconque de la courbe et du double de la hauteur d'où le corps aurait dû tomber pour acquérir la vitesse avec laquelle il décrit cet arc est au produit du rayon de la développée correspondant et de l'arc circulaire qui détermine la différence des deux rayons infiniment proches par lesquels agit la force centrale, ainsi cette force est à la pesanteur du corps. » (1)

Cette formule, qui pouvait convenir pour toutes les courbes, appliquée spécialement au cercle, permettait de retrouver la proposition fondamentale du marquis de l'Hôpital pour les forces centrales considérées dans le cercle.

Tels étaient donc les résultats dont l'influence marquait le travail de Villemot (2) et, de l'avis de certains, jusqu'au point même de lui enlever toute originalité. « Le *Nouveau système ou la nouvelle explication du mouvement des planètes* est entièrement fondé sur cette idée et c'est la considération de ces sortes de forces qui donne occasion à l'auteur de ce livre d'expliquer les mouvements des corps célestes d'une manière fort ingé-

de l'Académie des Sciences, 1703, p. 278). Enfin, il avait appliqué sa théorie au calcul *Du mouvement des planètes sur leurs orbes en y comprenant le mouvement de l'apogée ou de l'aphélie* (*Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1705, p. 457). Son dernier mémoire avait établi une *Comparaison des forces centrales avec les pesanteurs absolues des corps mûs de vitesses variées à discrétion le long de telles courbes qu'on voudra*. (*Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1706, p. 222).

(1) Cet énoncé est emprunté au compte-rendu fait par FONTENELLE dans l'*Histoire de l'Académie des Sciences*, 1706, p. 83.

(2) La chose apparaît d'autant plus clairement qu'on n'avait pas tardé à se rendre compte « qu'on peut prendre indifféremment de la force centripète pour la force centrifuge et réciproquement, puisque ces deux forces sont toujours égales entre elles. » (BOMIE, *Des forces centripètes et centrifuges*, in *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1707, p. 635). Varignon

nieuse » (1). Considérant d'ailleurs que le principe fondamental du nouveau système avait un rapport étroit avec le théorème 4 de la section 2 du Livre I des *Principia* de Newton, Bomie s'efforçait de faire de ces deux propositions deux corollaires d'une proposition beaucoup plus générale et beaucoup plus simple inspirée de la théorie des forces centrales.

Pourtant Fontenelle faisait remarquer que « si Villemot a démontré la règle de Képler, la gloire qui lui en appartient n'en est pas moindre parce que les sources de sa démonstration étaient pour ainsi dire publiques ; elles ne laissaient pas d'être en même temps cachées pour tous les autres. » (2)

Quoi qu'il en soit, les analogies entre la théorie de Villemot et celle des forces centrales devaient rendre tout à fait naturel, comme nous l'avons indiqué plus haut, quelque emprunt à cette dernière, lorsqu'il s'agissait d'échapper à la difficulté entrevue par Fontenelle. La supposition de densités ou pesanteurs spécifiques inégales attribuées aux parties des différentes surfaces sphériques parviendrait alors en effet à établir l'équilibre entre ces parties mêmes. « Mais si l'on prenait cette idée, ce ne serait pas démontrer que la règle de Képler est nécessaire selon la théorie des forces centrales, ce serait seulement faire voir qu'elle est possible et s'accorde avec cette théorie, lorsqu'on supposera que les densités de la matière fluide du tourbillon augmentent depuis le centre jusqu'aux extrémités. » (3)

s'était considéré, dans ses divers mémoires, comme autorisé à employer dans ses calculs l'une ou l'autre de ces forces selon la commodité.

(1) Bomie. *Des forces centripètes et centrifuges considérées en général dans toutes sortes de courbes et en particulier dans le cercle*, in *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1707, p. 634.

(2) *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1707, p. 128.

(3) *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1707, p. 128. Bomie faisait encore une autre objection, en s'attaquant au lemme I, ainsi conçu : « Les forces centrifuges de plusieurs mobiles, qui, dans un fluide homogène, font des circulations premières, chacun avec différente vitesse, sont toutes égales entre elles ; cela est évident, puisqu'elles sont toutes égales à la résistance du fluide, laquelle est partout la même dans un fluide homogène. » (*Nouvelle explication*, p. 14) : « Voici ma difficulté, précisait Bomie (*Mémoires de*

D'ailleurs, Villemot n'en demandait pas plus, puisqu'il considérait son but atteint, dès qu'il serait admis que l'objection de Newton n'était pas irréfutable, et que les tourbillons n'avaient pas pour conséquence de mettre en contradiction les lois de la mécanique avec les observations résumées dans la règle de Képler.

Cependant, l'ouvrage de Villemot apportait plus, pourrions-nous dire, que son titre n'annonçait ; car il ne contenait pas seulement une explication du mouvement des planètes, mais encore tout un système du monde conçu à la manière de Descartes. Les tourbillons suffiraient dès lors à expliquer non seulement la cause des apogées des planètes, de la progression de leurs nœuds, de la rétrogradation de ceux de la lune et du mouvement diurne de la terre, mais encore l'inclinaison de l'axe de la terre et son parallélisme, le magnétisme, aussi bien que des phénomènes très importants et particulièrement embarrassants dans la physique tourbillonnaire, tels que la pesanteur, le mouvement des comètes et l'existence des marées. Nous insisterons spécialement sur ces trois derniers points.

4. — Dans son *Discours sur la cause de la pesanteur* (1), Huygens avait apporté, contre l'explication cartésienne, des objections, dont deux surtout avaient paru bien vite fort embarrassantes. Si elles n'étaient pas dirigées contre la conception tourbillonnaire du monde, qu'admettait Huygens (2), elles

l'Académie des Sciences, 1707, p. 646) : Ces corps, en circulant, cherchent à s'échapper par les tangentes de leurs cercles ; donc, le fluide ne résiste à ces corps que suivant la direction de ces tangentes ; mais la résistance en ce sens ne contribue en rien à la force centripète, de quelque densité que l'on suppose le fluide ; donc l'homogénéité du fluide ne contribue en rien pour approcher ou pour écarter ces corps du centre. »

(1) Un vol. in-4°, Leyde, 1690.

(2) « Huygens fait mouvoir circulairement la matière céleste en tout sens autour du centre de la terre, c'est-à-dire que, dans son système, le centre de la terre est le centre commun de tous les cercles que décrit la matière céleste : au lieu que, selon Descartes, elle se meut toute en même sens autour

n'étaient pas moins de nature à exiger dans le système des modifications. D'ailleurs, les newtoniens n'avaient pas tardé à s'en saisir pour en tirer des conclusions bien moins mesurées.

D'abord (1), selon Huygens, admettre la supposition que la matière céleste décrit des cercles parallèles, c'était être conduit à considérer que les corps devraient tomber suivant des lignes perpendiculaires à l'axe de la terre, et ne seraient poussés vers le centre que dans le plan de l'équateur, alors que l'expérience montre au contraire qu'ils suivent partout une même direction et tendent au centre.

De plus, pour obtenir le degré de pesanteur expérimentalement constaté dans les corps graves, il faudrait, dans la matière céleste mûe circulairement, une vitesse beaucoup plus grande que la vitesse du mouvement journalier de la terre autour de son axe. Or, si la matière céleste se mouvait avec une telle vitesse dans un même sens, elle ne manquerait pas, de l'avis de Huygens, grâce à l'effort continuel d'un mouvement si rapide, d'entraîner avec elle tous les corps qui sont à la surface de la terre. Et l'expérience témoigne cependant contre une telle conséquence. L'objection ainsi proposée avait d'autant plus

de l'axe, d'occident en orient, et décrit des cercles dont les plans sont parallèles à celui de l'équateur. » (SAURIN, *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1709, p. 170).

(1) Nous plaçons ici cet argument en tête seulement parce que c'est à lui que nous allons voir les cartésiens s'attaquer en premier lieu. Le texte particulièrement caractéristique de Huygens est celui-ci : « Que si l'on voulait que la matière céleste tournât du même côté que la terre, mais avec beaucoup plus de vitesse, il s'ensuivrait que ce mouvement rapide d'une matière qui se meuvrait continuellement et toute d'un même côté, se ferait sentir et qu'elle emporterait avec elle les corps qui sont sur la terre ; de même que l'eau emporte la cire d'Espagne dans notre expérience ; ce qui, pourtant, ne se fait nullement. Mais, outre cela, ce mouvement circulaire autour de l'axe de la terre ne pourrait en tout cas chasser les corps, qui ne suivent pas le même mouvement, que vers ce même axe ; de sorte que nous ne verrions pas les corps pesants tomber perpendiculairement à l'horizon, mais par des lignes perpendiculaires à l'axe du monde, ce qui est encore contre l'expérience. » (*Op. cit.*, p. 134-135). La pagination est commune avec celle du *Traité de la lumière*, qui se trouve en tête.

de force que l'on ne pouvait songer à contester la nécessité de faire mouvoir la matière céleste avec une vitesse plus grande que celle de rotation de la terre ; car, dans le cas d'une égalité de vitesse, l'équilibre devant se trouver réalisé, la pesanteur disparaîtrait. Quant à la proportion des vitesses, Huygens trouvait par le calcul que le mouvement circulaire de la matière céleste devait être environ 17 fois plus rapide que celui de la terre.

Dans des *Conjectures sur la nature de la pesanteur*, apportées dès 1702, un médecin, préférant conserver l'anonymat, avait proposé de maintenir l'explication cartésienne, estimant qu'il eût été facile à Descartes d'en rendre raison, malgré les difficultés considérables, comme d'une suite nécessaire de son système du monde. « Il est clair, écrivait-il (1), que le tourbillon de la terre doit être pressé de tous côtés par le grand tourbillon qui l'environne : sa face postérieure, la supérieure, l'inférieure et les pôles par la matière éthérée qui le suit et l'entraîne avec elle : sa face antérieure par cette matière qui retombe sur elle avec impétuosité, et par celle qui le précède, contre laquelle il est obligé de faire effort pour poursuivre sa route. On jugera que cette compression doit être extrêmement forte, pour peu que l'on fasse attention à cet espace immense que la terre est obligée de parcourir tous les jours pour achever son cours autour du soleil dans l'espace d'une année. »

En 1703 (2), Saurin s'était donné pour tâche de répondre plus précisément à l'une des difficultés, celle que l'on reprenait le plus fréquemment en admettant avec Huygens que la direction de la pesanteur ne pourrait être au centre que dans le plan de l'équateur.

Le principe de la démonstration de Saurin se trouvait dans la notion de l'équilibre de pression dans le tourbillon sphérique : la pression extérieure s'y exerçant suivant des lignes

(1) *Journal de Trévoux*, octobre 1702, p. 347-348.
(2) *Journal des Savants*, janvier 1703, p. 24.

droites allant au centre, il proposait d'assimiler l'action de cette force sur celle donnée à la matière par la force centrifuge à celle d'un plan tangent à la surface sphérique. Cette supposition faite, il remarquait que la force centrifuge développée suivant le plan d'un parallèle devait avoir un double effet : d'abord une réaction du fluide extérieur suivant la corde diamètre du parallèle, ensuite une réflexion suivant une autre corde, faisant avec la première un angle déterminé par les lois de la réflexion. Dès lors, le corps grave placé au point d'action simultanée de ces deux forces devait être considéré comme poussé, non pas dans le sens de l'une ou l'autre de ces cordes, mais dans celui de la diagonale du parallélogramme, cette diagonale se trouvant précisément dirigée vers le centre du tourbillon sphérique. Ainsi s'expliquerait que la pesanteur, au lieu de s'exercer suivant des lignes perpendiculaires à l'axe de la terre, agirait dans la direction de son centre.

Ces réflexions de Saurin n'avaient pas tardé à soulever des critiques, notamment de la part de La Montre (1) et de Parent (2). La Montre reprochait à Saurin une pétition de principe. Non seulement, en effet, d'après lui, Saurin ne démontrait pas que les cercles concentriques qui sont dans le plan d'un parallèle sont contenus sous des surfaces sphériques ; mais, lorsqu'il estimait que l'égalité de pression du tourbillon solaire sur le tourbillon de la terre le rend sphérique, et qu'il ajoutait que cette égalité de pression se fait suivant les lignes droites qui vont au centre, « il ne s'apercevait pas qu il nous proposait ce qui est en question. » (3)

Avec plus d'assurance encore, Parent concluait de ses calculs que « les résistances obliques que M. Saurin a voulu envisager n'ont donc aucunement lieu ; puisqu'il ne s'agit plus d'une

(1) *Réflexion sur la solution d'une difficulté proposée contre le système cartésien de la pesanteur*, in *Journal de Trévoux*, 1703.

(2) *Essais et recherches de mathématiques et de physique*, 1 vol. in-12, Paris, 1703.

(3) *Op. cit.*, mars 1703, p. 500.

réflexion... la réflexion n'ayant lieu, précisait-il (1), qu'il n'y ait un mouvement réel, c'est-à-dire un passage, ou un écoulement, comme dans les corps qui ne sont retenus de rien ; ou une élévation et un abaissement, comme dans les liqueurs, ou enfin un diastole et systole, comme dans tous les corps capables de ressort, tels que l'air, la flamme, la lumière etc. Ce n'est pas que je reconnaisse ce dernier dans le tourbillon de la terre; mais je le reconnais comme dans la flamme, etc., c'est-à-dire comme procédant du ressort naturel des parties du tourbillon selon ses rayons, au moyen duquel il s'entretiendrait rond, s'il n'avait point de mouvement circulaire. »

« De plus, ajoutait Parent (2), ces résistances traversant le tourbillon de la terre en tous les sens imaginables, et même en des sens souvent fort opposés, ce système nous obligerait à envisager dans la matière de ce tourbillon une infinité d'actions qui l'embrouillent infiniment, et dont on peut fort bien se passer en expliquant la chose d'une autre manière. »

Or, Saurin ayant lié à la direction et à l'équilibre des actions de la pesanteur la forme sphérique du tourbillon de la terre, supposé tel par la réaction de la matière environnante, qui le presse également par dehors de toutes parts selon des lignes qui vont au centre de ce tourbillon, Parent se trouvait autorisé à étendre ses conclusions négatives jusqu'à cette idée : « Enfin, les moyens que M. Saurin emploie pour soutenir M. Descartes étant contraires à la mécanique et à l'expérience journalière, il reste d'établir tout le contraire de ce qu'il prétend ; savoir que le tourbillon de la terre est rond par lui-même, et par la matière environnante, c'est-à-dire, comme les gouttes de liqueurs environnées d'air sont rondes par le seul mouvement de leurs parties ; c'est ce mouvement qui fait leur ressort, et ce ressort qui fait leurs actions et réactions. Et, qu'à l'égard de la vertu

(1) Nous citons ici, d'après la deuxième édition de l'ouvrage, 3 vol. in-12, Paris, 1713, I, troisième partie (avec pagination spéciale). p. 71.

(2) *Op. cit.*, p. 72.

centrifuge des parties de ce tourbillon, bien loin qu'elle contribue en rien à l'arrondir et à précipiter les corps vers son centre; elle le rend au contraire un peu plus étendu autour de l'équateur où sa force est plus grande, et plus aplati d'autant, autour des pôles, où sa force est très petite ; en sorte que sa figure doit être celle d'une sphère aplatie vers les pôles. » (1) Certes, c'était là rejoindre Huygens, mais c'était aussi se trouver d'accord, sur la question de la figure de la terre, avec la conclusion établie par Newton (2).

5. — Certes, ces critiques n'avaient pas troublé la confiance de Saurin dans la solidité de ses remarques ; mais tous les cartésiens ne parvenaient pas à conserver la même assurance, d'autant plus que Saurin n'avait jusqu'alors répondu qu'à une seule des objections proposées par Huygens (3). Aussi paraissait-il intéressant à Villemot de transformer la solution cartésienne, en n'en conservant que la théorie générale des tourbillons.

« Comme les graves tendent tous au centre de la terre, en circulant pendant leur chute autour de ce même centre, il semble que nous devions chercher dans ce centre même le principe de ces deux mouvements : or, nous savons que ce principe ne peut être lui-même qu'un mouvement, et nous avons déjà démontré que le bouillonnement est le seul mouvement qui convienne au centre du tourbillon ; par conséquent nous devons penser qu'il y a dans le centre de la terre et de toutes les planètes un bouillonnement semblable à celui

(1) *Op. cit.*, p. 72-73.

(2) A défaut de l'ouvrage que Parent se proposait de composer sur la pesanteur et qui ne fut jamais publié, nous trouvons des idées fort intéressantes à ce point de vue dans ses *Conjectures sur la pesanteur et autres vertus sympathiques et élastiques*, in *Journal des Savants*, 1701.

(3) Villemot, en particulier, sans critiquer la réponse de Saurin, devait la considérer comme peu concluante, puisqu'il estimait importante la difficulté que cette réponse avait prétendu écarter.

que nous avons remarqué dans le centre du grand tourbillon, quoique beaucoup moindre. » (1)

Aussi, après avoir cherché à établir l'existence de ce bouillonnement dans le centre de la terre, Villemot tendait à expliquer la manière dont on pouvait en tirer, à titre de conséquences, les effets de la pesanteur. « Comme la matière bouillonnante dans le centre de la terre tend à s'en éloigner en ligne droite, et qu'elle n'en peut sortir... on conçoit qu'elle pousse, ou plutôt qu'elle presse toute la matière voisine vers la circonférence, et qu'ainsi elle doit pousser vers le centre les corps grossiers, par la même raison que l'eau tendant en bas fait monter le liège dont elle prend la place : j'appelle cette pression la *tendance*, pour la distinguer de la force centrifuge.

« La tendance se communiquant du centre à la circonférence en ligne droite en forme de rayons, il est évident qu'en s'éloignant du centre elle doit décroître ainsi que la densité des rayons de lumière, c'est-à-dire comme les carrés des distances réciproques ; d'où il suit que les graves pèsent moins sur les montagnes que dans les vallées et que leur pesanteur doit toujours diminuer en s'éloignant de la terre, ce qui est confirmé par l'observation de Newton qui remarque qu'il faut accourcir les pendules sur les montagnes. » (2)

Les expériences de Richer à Cayenne paraissaient à l'auteur du *Nouveau système* s'accorder fort bien avec son explication, car « on a aussi observé qu'il faut accourcir les pendules sous l'Equateur, et on peut assurer que c'est par la même raison par

(1) *Nouveau système*, p. 172 : « Si les parties d'un fluide qui circule sont tellement pressées qu'elles ne puissent ni s'écarter dans le plan de la circulation, ni refluer le long de l'axe, mais qu'elles trouvent moins de résistance vers le centre de leur circulation, elles réfléchiront de ce côté, avec une force proportionnée à leur force centrifuge, c'est-à-dire que le fluide bouillonnera. Ainsi, j'appelle *bouillonnement* le mouvement irrégulier des parties d'un fluide qui circule, lesquelles se choquent mutuellement, en se réfléchissant vers le centre, où elles trouvent moins de résistance que partout ailleurs. » (*Op. cit.*, p. 28). C'est à ce bouillonnement central du grand tourbillon que Villemot attribuait l'existence du soleil.

(2) *Op. cit.*, p. 182.

laquelle il faut les accourcir sur les montagnes : en effet, l'Equateur doit être regardé comme une haute montagne ; et l'on n'en peut douter depuis que M. Cassini a observé que les degrés de la terre diminuent toujours d'une 800e partie en allant de l'Equateur vers les pôles. » (1)

6. — Bien loin d'arrêter les critiques des newtoniens, cette explication ne donna même pas satisfaction aux cartésiens; si bien que Saurin dut reprendre, peu après, sa défense du cartésianisme sur ce point. Certes, il se plut à reconnaître l'ingéniosité de Villemot pour la conciliation de la règle de Képler avec les calculs sur les forces centrales, il signala que la *Nouvelle explication* était un « ouvrage qu'il est plus aisé de critiquer qu'il ne le serait d'en faire un meilleur » ; mais il ne put se résoudre à abandonner l'idée même de Descartes. Aussi le voyons-nous présenter de nouveau, en 1709, un important mémoire à l'Académie (2).

Dès le début, il y affirmait de façon nette ses vues cartésiennes : « J'ai entrepris, disait-il, sur cette matière un petit traité, que j'ai commencé à lire dans nos assemblées particulières. L'Académie a pu voir que je mets la cause de la pesanteur dans l'effet centrifuge de la matière céleste qui nous environne et que je fais naître en elle cet effort du mouvement circulaire, qu'elle a autour de l'axe de la terre, selon l'idée des tourbillons cartésiens. Un des principaux objets que je me suis proposé dans le petit traité dont je parle est de défendre

(1) *Op. cit.*, p. 186. Il peut paraître surprenant de voir ici les mesures de Cassini, concluant à la diminution des degrés de l'équateur au pôle, invoquées en faveur du renflement de la terre à l'équateur. Mais Villemot ne faisait en cela que céder à la méprise commise sur ce point à cette époque par ceux qui se préoccupaient de mettre en accord avec les nouvelles mesures les expériences de Richer et les conclusions tirés de là par Newton. Nous renvoyons sur la question à notre ouvrage sur *Maupertuis*, 2 vol. in-8, Paris, 1929, dans lequel un chapitre entier est consacré à la figure de la terre.

(2) *Examen d'une difficulté considérable proposée par M. Huygens contre le système cartésien sur la cause de la pesanteur*, in *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1709, p. 166.

ce sentiment contre les difficultés qui ont fait rejeter l'hypothèse des tourbillons à deux des plus célèbres géomètres de notre temps, Huygens et Newton. »

Reprenant avec une méthode différente (1) les calculs de Huygens sur la proportion des vitesses nécessaire pour produire la pesanteur observée, il arrivait bien au même résultat, établissant que la vitesse du mouvement circulaire de la matière céleste devait être 17 fois aussi grande que celle du mouvement journalier de la terre (2). Il s'agissait dès lors d'établir si et à quelles conditions, même à une telle vitesse, le tourbillon céleste pouvait ne pas entraîner avec lui les corps placés à la surface de la terre.

Or, l'extrême faiblesse de densité du fluide tourbillonnaire apportait, une fois supposée, une première raison plausible ; car « si, de deux fluides emportés avec une même vitesse, l'un est, par exemple, deux fois moins dense que l'autre, il doit faire deux fois moins d'effort, car à chaque temps le corps contre lequel il agit est choqué par deux fois moins de particules, et par conséquent deux fois moins choqué. » (3)

Bien plus, la force d'entraînement d'un fluide paraissait à Saurin dépendre encore de la plus ou moins grande résistance de ce fluide à la division, c'est-à-dire à la séparation et au déplacement de ses particules. Or, la diminution d'une telle résistance pouvait tenir à des causes diverses, dont le concours semblait susceptible de la faire tout à fait considérable. La densité intervenait là une seconde fois, mais d'un autre point de vue : en effet, « il est clair qu'un fluide doit être d'autant plus facile

(1) Il s'appuyait sur les travaux de Varignon concernant les forces centrales.

(2) Ce rapport s'accordait encore, d'après Saurin, avec celui que la règle de Képler devait donner. Il est vrai que cette différence de vitesse, pour des couches du tourbillon aussi voisines, faisait surgir une nouvelle difficulté, dont Saurin renonçait à donner la solution. Nous retrouverons d'ailleurs plus loin cette objection, reprise avec force par les newtoniens.

(3) *Op. cit.*, p. 176.

à diviser, que ses particules sont moins serrées, moins près les unes des autres, c'est-à-dire, d'autant plus qu'il est moins dense. Le plus ou moins d'âpreté, d'inégalité dans les surfaces des particules, et leurs figures plus ou moins irrégulières et embarrassantes sont deux autres causes dignes d'attention, et qui peuvent produire à l'égard de la facilité des fluides à se diviser, et par conséquent dans la force de leur choc, de grandes différences. » (1) Saurin, qui avait cru un moment pouvoir ajouter encore à ces causes le différent degré de subtilité du fluide, avait dû renoncer à cette remarque, parce que ses calculs l'avaient amené à conclure avec Newton « que deux fluides de même nature et de même densité et qui ne diffèrent qu en ce que les particules de l'un sont plus petites que celles de l'autre, font une égale résistance au mouvement des corps, ou, si les fluides se meuvent eux-mêmes, ont une égale force de choc. » Cependant, en considérant que tous les corps sont plus ou moins perméables, pour ainsi dire, et pénétrables, en raison des pores qu'ils possèdent, la subtilité du fluide pouvait intervenir, non pas directement, mais indirectement. « Car un fluide qui serait si subtil que tous les corps lui donneraient un libre passage par leurs pores choquerait ces corps sans doute avec bien moins de force que ne ferait un autre fluide de même nature, mais dont les particules seraient trop grossières pour pouvoir passer à travers les pores des corps. Il est évident qu'encore que ces deux fluides fussent d'une même densité, ils tomberaient, par rapport à l'effet du choc, dans le cas de deux fluides inégalement denses, tout ce qui dans le fluide subtil continue son cours par les pores des corps, librement et sans le choquer, ne devant point être compté. Or, où cela ne peut-il point aller ? » (2) puisque, en l'absence du témoignage des sens et de l'imagination, insuffi-

(1) *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1709, p. 177. Et il est précisément remarquable que les particules de la matière céleste, n'ayant ni forme ni grosseur déterminées et pouvant se diviser à l'infini, rendent fort plausible la diminution de l'effort exercé par ce fluide.

(2) *Op. cit.*, p. 178.

sant en ces matières, nous pouvons, par la seule raison, pousser presque indéfiniment et la subtilité de la matière céleste et la rareté dans la contexture des corps.

Pourtant, malgré toute l'habileté qu'il venait de déployer, Saurin sentait bien qu'il n'apportait pas là une solution tout à fait satisfaisante ; et il y avait bien en somme quelque chose comme un implicite aveu d'impuissance dans cette remarque : « Quand, après toutes les considérations que l'on vient de faire, on ne serait pas moins frappé, comme d'une absurdité, de cette rapidité prodigieuse que nous donnons à la matière céleste proche de la terre, quoiqu'elle ne s'y fasse pas sentir, il me semble qu'il n'y aurait pas d'autre parti à prendre, que de la digérer, cette absurdité, comme on est obligé d'en digérer tant d'autres dans la plupart des sujets de physique, et généralement dans presque tous les objets de nos connaissances. » (1)

Nous voyons par là jusqu'à quel point Saurin entendait rester fidèle à l'esprit du cartésianisme. En effet, « si nous consultons nos idées sur la cause physique du mouvement, elles ne nous présenteront rien de clair, rien de distinct que le choc, ou l'impulsion : ainsi c'est par ce principe qu'il faut rendre raison du mouvement dont nous cherchons la cause, ou abandonner cette recherche, et renoncer à l'espérance de pouvoir jamais expliquer d'une manière intelligible et raisonnable le phénomène de la pesanteur ; et si nous ne réussissons pas à l'expliquer par ce principe, cela marquera sans doute l'insuffisance de nos lumières, mais non pas celle du principe. » (2) Ce qui importe surtout par conséquent, de l'avis de Saurin, c'est de ne pas considérer, à la suite de Newton, la pesanteur « comme une qualité inhérente dans les corps et ramener les idées tant décriées de qualité occulte et d'attraction. Il ne faut pas nous flatter que, dans nos recherches de physique, nous puissions jamais nous mettre au-dessus de toutes les difficultés ; mais

(1) *Op. cit.*, p. 182.
Op. cit., p. 168-169.

ne laissons pas de philosopher toujours sur des principes clairs de mécanique ; si nous les abandonnons, toute la lumière que nous pouvons avoir est éteinte, et nous voilà replongés de nouveau dans les anciennes ténèbres du péripatétisme, dont le ciel veuille nous préserver. » (1)

7. — L'explication newtonienne du mouvement des comètes peut en somme se réduire aux points essentiels suivants : les comètes sont des astres permanents — soumis à des retours périodiques — exécutant leur révolution autour du soleil suivant une ellipse si allongée que, dans la partie visible pour nous, elle se confond avec une parabole — et d'après les lois d'attraction qui règlent le cours des planètes. Or, l'opposition n'avait pas tardé à se révéler sur chacun de ces points.

« Si les comètes, remarquait de la Hire en 1702 (2), étaient des planètes qui se fissent voir seulement de la terre lorsqu'elles en sont fort proches, il n'y a pas de doute qu'elles devraient paraître s'augmenter peu à peu de la même manière qu'on les voit ordinairement s'évanouir et disparaître, tant par rapport à leur mouvement, lequel devient plus lent sur la fin de leur apparition, que par la diminution de leur lumière, qui s'éteint aussi à peu près dans la même proportion. Mais nous commençons presque toujours à voir les comètes quand elles sont dans leur plus grande clarté et quand elles parcourent un plus grand chemin apparent ; et c'est ce qui pourrait faire croire que ce ne sont que des feux, qui, s'allumant subitement, se dissipent peu à peu en diminuant de vitesse. Car il n'y a guère d'apparence que de très grandes comètes n'aient été aperçues que quand elles ont été dans l'état le plus lumineux, surtout dans ce temps-ci, où il y a un très grand nombre d'astronomes qui s'appliquent à la contemplation des astres. Et si l'on voulait dire qu'on n'y a pas fait attention quand elles commençaient à

(1) *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1709, p. 187.

(2) *Observations d'une nouvelle comète, avec quelques remarques sur les comètes*, in *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1702, p. 159.

paraître et qu'elles étaient fort petites, au moins on les aurait vues longtemps avant qu'elles fussent dans leur plus grande force ; mais il est certain qu'on ne les voit s'augmenter que très peu, ce qu'on peut attribuer au chemin qu'elles décrivent, qui n'est pas, suivant toutes les apparences, un grand cercle à peu près concentrique à la terre ; ce qu'on ne peut pourtant pas démontrer, puisque la diminution de leur mouvement et de leur lumière pourrait être physique et non pas optique.

« Cependant les comètes, qu'on observe quelquefois, qui tiennent la même route que d'autres qui les ont précédées ont pu donner lieu au sentiment de quelques astronomes, qui les considèrent comme des planètes : mais comme cette hypothèse n'est fondée que sur l'observation d'une comète qui paraît dans le même chemin et qui aura la même vitesse qu'une autre qu'on aura observé un grand nombre d'années auparavant, je n'ai pu encore me résoudre à embrasser ce sentiment. »

Il est vrai que, l'année même où de la Hire résumait ainsi ses conclusions contre la permanence et le retour des comètes, Cassini, s'attaquant par allusion à de telles explications, disait, en parlant de ceux qui avaient prétendu autrefois que ces astres étaient des feux de plus ou moins de durée : « Si on les avait crus, on n'aurait jamais entrepris de chercher les règles de leurs mouvements, ni même de les distinguer les uns des autres. On a mieux fait de les supposer perpétuels, sans se rebuter du travail immense, dans une infinité de comparaisons qu'il a fallu faire pour parvenir aux connaissances que nous en avons présentement. Le travail que l'on a commencé à faire en ce siècle, dans la comparaison des comètes, a déjà eu le fruit de prévoir de bien près le cours que doit faire une comète après l'avoir observée deux ou trois fois. » (1)

(1) *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1702, p. 180. D'ailleurs, l'argument essentiel de la thèse de de La Hire n'allait pas tarder à être controuvé par les faits. « M. Cassini rapporte six comètes, depuis l'an 1580, qui, après leur première apparition, ont toujours augmenté de grandeur et de vitesse apparentes, pendant différents temps, dont le plus court a été de dix jours

Pourtant, après s'être rallié ainsi à l'hypothèse des retours des comètes, Cassini reste « si retenu lui-même à en faire l'application, qu'il ne la fait qu'à des comètes dont le mouvement s'explique par des suppositions aussi simples que celui des planètes, et qui ne demandent pas qu'on leur passe de plus grandes irrégularités. A peine leur accorde-t-il toutes celles de la lune. Comme il n'est pas nécessaire, selon M. Cassini, que toutes les comètes soient des planètes, dès qu'il y a une difficulté insurmontable contre le retour d'une comète, il n'y a qu'à abandonner l'hypothèse. » (1)

Nous pouvons nous rendre compte par ces remarques de la réserve et de la timidité mises par Cassini à rejoindre la théorie newtonienne. D'ailleurs, s'il se rencontrait sur ce point avec Newton, il s'en séparait bien vite dans la façon de déterminer la marche de ces astres soumis à des retours périodiques. Il supposait en effet « que les comètes décrivent des cercles prodigieusement excentriques à la terre et qui le sont à tel point que nous ne pouvons voir ces astres que dans une très petite partie de leur révolution. Hors de là, ils vont se perdre dans des espaces immenses, où ils se dérobent à nos yeux et à nos

et le plus long de quarante-trois. Les réflexions que ces faits peuvent produire se présentent si naturellement qu'il est presque inutile de les exposer ici. Les comètes ne sont pas des feux qui s'allument subitement et ne tendent ensuite qu'à s'éteindre, puisqu'il y en a qui augmentent de grandeur pendant des temps considérables. On pourrait peut-être penser de celles-ci que ce seraient des matières qui ne se seraient pas d'abord allumées dans toute leur étendue et dont l'embrasement aurait toujours été en augmentant jusqu'à un certain point. Mais pourquoi augmenteraient-ils toujours de vitesse aussi bien que de grandeur, et selon la même raison ? La conformité parfaite de ces deux augmentations apparentes marque qu'elles tiennent toutes deux à un même principe, qui ne peut être que le changement de distance ; ce même raisonnement a lieu sur la diminution de la grandeur et celle de la vitesse, qui vont toujours ensemble, et par conséquent les comètes ne sont pas des productions fortuites et passagères, qui naissent ou périssent, se fortifient ou s'affaiblissent, selon qu'il paraît à nos yeux. » (Fontenelle, *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1708, p. 124).

(1) Fontenelle, *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1702, p. 91.

lunettes. » (1) Partant de là, après avoir déterminé le périgée, Cassini proposait d'admettre pour le calcul « que la comète, au lieu de décrire un arc de cercle ou de quelque autre courbe, décrit la tangente d'un cercle concentrique à la terre, qui a pour rayon la distance de la terre à la comète dans son périgée. Cette tangente l'est dans le point du périgée. Quoique ce soit une ligne droite, elle peut, dans une grande étendue, être prise pour l'arc même de l'orbe de la comète, à cause de l'énorme grandeur dont cet orbe doit être. » (2)

Mais, autant qu'il se séparait de Newton par cette façon de calculer, Cassini risquait de faire échec par sa théorie au système tourbillonnaire. En effet, s'il était déjà difficile de comprendre le mouvement rétrograde de certaines comètes en les supposant des feux passagers (3), à plus forte raison devait-il y avoir des difficultés, dans la théorie des retours périodiques, à concevoir la persistance d'un tel mouvement rétrograde selon une marche réglée dans une orbite donnée. Or « tout le monde sait que les comètes ne sont point assujetties à la direction générale et unique du mouvement qui emporte d'occident en orient toutes les planètes renfermées dans le tourbillon du soleil. Elles vont quelquefois d'orient en occident, comme la

(1) Fontenelle, *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1699, p. 96.

(2) Fontenelle, *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1706, p. 131.

(3) Il serait, en effet, « inconcevable que des productions accidentelles, formées dans l'étendue du tourbillon du soleil, pussent avoir des directions de mouvement contraires à celle de tout ce tourbillon. Car ne seraient-elles pas indifférentes d'elles-mêmes à toutes sortes de directions et ne prendraient-elles pas nécessairement celle du liquide où elles flotteraient ? Et quand on supposerait que, par leur formation même et par la manière dont elles s'embraseraient, elles auraient une certaine direction de mouvement, comme ces fusées naturelles qu'on voit quelquefois en l'air, elles ne la conserveraient pas longtemps dans un liquide qui lui résisterait toujours et, par conséquent, diminuerait leur vitesse, d'instant en instant, jusqu'à ce qu'il l'eût entièrement détruite ; après quoi, il ne leur resterait que celle de ce liquide même; qui les emporterait selon sa direction. La plus grosse comète n'est qu'un atome en comparaison de ce fluide immense où elle nage et le moyen qu'elle s'y conservât une direction de mouvement opposée à la sienne ? » (*Histoire de l'Académie des Sciences*, 1708, p. 125).

seconde de 1702 et celle de 1706, quelquefois elles vont ou du midi au septentrion, comme celles de 1472, de 1556, de 1707, ou du septentrion au midi, comme celles de 1689 et de 1699, et cela assez directement, de sorte qu'elles coupent l'écliptique sous de grands angles. On peut comparer celles qui vont d'orient en occident à un nageur qui irait droit contre le fil de l'eau d'une rivière et la remonterait et celles qui vont d'un pôle vers l'autre à un nageur qui traverserait la rivière. Ces deux mouvements sont opposés à celui de l'eau, qui ne peut être surmonté que par une assez grande force. Il peut y en avoir un troisième, moyen entre ces deux, qui en même temps remonte et traverse ; aussi y a-t-il eu une comète en 1472, dont le cours avait en même temps les deux sortes d'opposition au mouvement général du tourbillon. » (1)

8. — Aussi, dans sa *Nouvelle explication du mouvement des planètes,* Villemot proposait-il de placer les comètes au-dessus de Saturne, dans une région où, en l'absence de mouvement commun ou réglé, on pourrait imaginer des courants irréguliers circulant en tous sens dans une infinité de directions différentes. En effet, « le ciel qui est au-dessus de Saturne, vers l'extrémité du tourbillon, doit être bien différent de celui des planètes et par sa substance, et par son mouvement ; quant à sa substance, il ne peut être aussi épuré que celui des planètes et il doit être rempli des parties du grand tourbillon les plus grossières, qui nagent dans la matière céleste, et que le courant très rapide des sphères inférieures pousse vers l'extrémité du tourbillon où le mouvement est plus lent ; comme on voit les courants des rivières repousser les fétus et les pailles vers les bords où l'eau est dormante...

« Quant au mouvement du ciel des comètes, il doit être très

(1) Fontenelle, *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1708, p. 122. Si nous empruntons l'exposé de cette difficulté à un article postérieur à l'ouvrage de Villemot, il n'en est pas moins vrai qu'elle avait surgi auparavant.

irrégulier, et on ne peut mieux le comparer qu'à celui d'un fleuve très rapide, dont les bords sont inégalement coupés par les pointes des terres et les rochers qui avancent dans son lit, et qui interrompent son cours ; car on voit qu'il se forme en ces endroits des courants très rapides qui coulent de tous côtés et qui remontent même contre le cours de la rivière ; que si ces pointes de terre et de rochers, au lieu d'être immobiles, allaient avec impétuosité contre le courant, quelle serait l'agitation de la rivière aussi bien que la violence et l'irrégularité de ses courants ? De même la matière qui circule au-dessus de Saturne, heurtant les tourbillons des étoiles fixes qui se meuvent contre son cours avec une impétuosité égale, il doit se former, par la contrariété de ces grands mouvements et par les pressions différentes de la matière, des reflux et des courants très rapides qui se meuvent indifféremment de tous côtés et selon toutes les déterminations imaginables. » (1)

Ainsi pourraient s'expliquer, non seulement l'existence de comètes rétrogrades, mais toutes les irrégularités, si grandes et si diverses soient-elles, qu'affecteraient les comètes dans leurs mouvements. Et cela d'autant plus facilement encore que Villemot reprenait les idées de de la Hire et se refusait à considérer les comètes comme des astres permanents (2).

(1) *Nouvelle explication*, p. 92-96.

(2) « Les parties du tourbillon les plus grossières étant très abondantes à son extrémité, il est aisé de comprendre qu'il peut s'en faire de temps en temps de grands amas, comme il se forme de temps à autre de grandes îles dans nos rivières et même plus grandes à proportion que les grandes comètes : il paraît aussi que les parties les plus grossières de toutes forment le corps et comme le noyau de ces météores, autour duquel se doivent ranger les parties les plus rares et les plus subtiles en plusieurs sphères différentes pour composer leur atmosphère. » (*Op. cit.*, p. 96). D'ailleurs, les comètes n'ayant pas, comme les planètes, un tourbillon autour d'elles, assurant leur liaison et leur consistance, et se trouvant d'autre part « agitées par des mouvements violents et contraires, elles ne peuvent durer longtemps, non plus que les nues, et doivent enfin se dissiper : mais, comme il peut se former successivement plusieurs comètes qui, étant entraînées par les mêmes courants, se meuvent avec la même vitesse et sous les mêmes étoiles, quel-

Cette idée de Villemot ne s'opposait pas seulement à celles de Newton parce qu'elle permettait de sauver l'explication tourbillonnaire du système du monde, mais aussi parce qu'en rejetant les comètes au delà de Saturne, elle se heurtait directement à des conclusions des *Principia* sur l'emplacement des orbites cométaires.

D'après Newton, en effet, « de même que le défaut de parallaxe diurne fait voir que les comètes sont au-dessus des régions sublunaires, leur parallaxe annuelle prouve qu'elles descendent dans la région des planètes. Car les comètes qui vont suivant l'ordre des signes sont toutes, vers la fin de leur apparition, de plus en plus retardées ou même rétrogrades, si la terre est entre elles et le soleil, et accélérées également, si la terre est en opposition. Au contraire, les comètes qui vont contre l'ordre des signes vont plus vite vers la fin de leur apparition, si la terre se trouve entre elles et le soleil ; et elles vont plus lentement ou sont rétrogrades, si la terre se trouve en opposition avec elles. » (1) Et les calculs basés sur cette parallaxe donnent le lieu des comètes ordinairement inférieur à l'orbite de Jupiter. « On conclut la même chose de la courbure du chemin des comètes. Ces corps marchent à peu près dans de grands cercles pendant qu'ils se meuvent avec leur plus grande vitesse ; mais, dans la fin de leurs cours, où cette partie de leur mouvement apparent qui vient de la parallaxe a une plus grande proportion au mouvement total apparent, elles ont coutume de s'écarter de ces cercles, et, lorsque la terre se meut vers un côté du ciel, elles vont du côté opposé. Cette déflexion vient principalement de la parallaxe, car elle répond au mouvement de la terre ; et

ques astronomes les prenant pour la même ont pensé que les comètes sont des astres comme les planètes, formés dès le commencement du monde, qui ont leur cours réglé dans des cercles fort excentriques à la terre et qui ne paraissent que dans leur périgée. » (*Op. cit.*, p. 104). Remarquons ici que c'est Cassini qui se trouvait directement visé et non Newton, mais la critique à l'égard de celui-ci était implicite et, pour ainsi dire, *a fortiori*.

(1) *Principes mathématiques*, trad. de Mme du Châtelet, 2 vol. in-4°, Paris, 1759, II, p. 110.

la grandeur de cette déflexion prouve, selon mon calcul, que les comètes, lorsqu'elles disparaissent, sont placées assez loin au-dessous de Jupiter. Et par conséquent dans leur périgée et leur périhélie, où elles sont plus proches, elles descendent souvent au-dessous des orbes de Mars et des planètes inférieures.

« La proximité des comètes se confirme encore par la lumière de leurs têtes. Car l'éclat d'un corps céleste, éclairé du soleil et qui s'éloigne à de très grandes distances, diminue en raison quadruplée de sa distance : c'est-à-dire, dans une raison doublée à cause que la distance de ce corps au soleil augmente, et dans une autre raison doublée à cause de la diminution de son diamètre apparent. Ainsi, si la quantité de la lumière et le diamètre apparent d'une comète sont donnés, on aura sa distance, en disant, cette distance est à la distance d'une planète en raison directe du diamètre au diamètre et en raison sous-doublée inverse de l'illumination à l'illumination. » (1) Or, en appliquant ces règles à la comparaison de certaines comètes avec Saturne, on trouve que parfois leur lumière surpasse celle de cette planète, et que par conséquent elles sont au-dessous de Saturne. A plus forte raison cette conclusion apparaît-elle nécessaire, si l'on tient compte de l'obscurcissement causé aux comètes par la fumée épaisse et abondante qui entoure leurs têtes. « Plus cette fumée obscurcit les comètes, plus il faut qu'elles approchent du soleil afin que la lumière qu'elles réfléchissent puisse être presque égale à celle des planètes ; d'où il est très vraisemblable que les comètes descendent beaucoup au-dessous de l'orbe de Saturne, comme nous l'avons prouvé par la parallaxe. » (2)

Enfin, Newton avait apporté un troisième argument : « La même chose se trouve amplement confirmée par leurs queues. Ces queues sont formées ou par la reflexion de la fumée éparse dans l'éther, ou par la lumière de la tête des comètes. Dans le

(1) *Principes mathématiques*, trad. Mme du Châtelet, II, p. 112-113.
(2) *Op. cit.*, II, p. 114.

premier cas, on doit diminuer la distance des comètes, car sans cela il faudrait supposer que cette fumée qui s'exhale sans cesse de leurs têtes est propagée dans un espace immense avec une vitesse et une expansion incroyables. Dans le dernier cas, on attribue toute la lumière de la queue et de la chevelure au noyau de la tête ; or, si nous concevons que toute cette lumière est rassemblée et resserrée dans le disque du noyau, il est certain que ce noyau, toutes les fois que la comète a une queue très grande et très éclatante, devrait être beaucoup plus brillant que Jupiter; car donnant plus de lumière et ayant un plus petit diamètre apparent, il doit être beaucoup plus éclairé et beaucoup plus près du soleil que Jupiter. Bien plus, lorsque leur tête est cachée par le soleil, et que leurs queues paraissent, ainsi qu'il arrive quelquefois, comme de grandes poutres enflammées, on doit par le même raisonnement les placer au-dessous de l'orbe de Vénus ; car, si toute cette lumière est supposée rassemblée en une étoile, elle doit surpasser de beaucoup Vénus en clarté. » (1)

Villemot, laissant de côté ce dernier argument (2) répondait aux deux premiers « qu'il est vrai qu'on peut juger de la distance des planètes dont le mouvement est régulier par la parallaxe annuelle, c'est-à-dire par l'apparence de leur progression, station et rétrogradation causées par le mouvement annuel de la terre, et qui est d'autant plus sensible qu'elles sont plus proches de nous ; mais qu'il n'en est pas de même des comètes, où cette apparence, pouvant être attribuée à l'irrégularité de leur mouvement, ne peut faire juger de leur véritable distance : on ne doute pourtant point que les comètes n'aient une parallaxe

(1) *Op. cit.*, II, p. 115.

(2) Sans doute considérait-il que la force en devait disparaître, si l'on admettait avec lui que la luminosité de la queue des comètes est dûe à la réfraction des rayons du soleil passant à travers cette atmosphère diaphane et convexe. Mais cette hypothèse amenait en réalité à des conséquences assez analogues à celles que Newton avait prévues dans le premier cas et, par conséquent, Villemot ne se trouvait pas dispensé de répondre à ce troisième argument pour l'écarter.

annuelle, puisque les étoiles fixes en ont une de dix secondes ; mais on ne peut déterminer suffisamment la quantité de cette parallaxe, tant à cause de leur mouvement inégal que parce que les observations en sont très rares. Pour ce qui regarde leur éclat, on peut l'attribuer à une disposition particulière qui les rend plus propres que les planètes à réfléchir la lumière ; soit que le corps des comètes soit plus uni que celui des planètes, dans lesquelles on observe tant d'inégalités qui absorbent la lumière ; soit à cause de la grandeur énorme de leur atmosphère, qui renvoie la lumière vers la terre non seulement par réfraction, mais encore par réflexion : c'est par la première de ces deux causes que Jupiter paraît plus brillant que Mars, quoique dans un plus grand éloignement du soleil et de la terre ; c'est pourquoi on ne peut douter que les comètes ne soient au-dessus de Saturne, et la raison tirée de leur mouvement contraire à celui des sphères célestes paraît toujours convaincante nonobstant les objections de M. Newton. » (1)

La solution de Villemot pouvait paraître élegante et commode ; mais,même aux yeux des cartésiens, son insuffisance ne pouvait manquer d'éclater, car, ainsi que le remarquait Fontenelle, l'année suivante, « quoique la plupart des comètes dont les directions sont contraires à celle du tourbillon soient assez élevées pour pouvoir être placées où l'on voudra, il y en a cependant quelques-unes qui ne laissent pas cette liberté ; la seconde de 1702, par exemple, n'était que 5 fois plus élevée que la lune, et en même temps elle allait contre le mouvement général du tourbillon. Toutes les difficultés de la résistance du milieu reviennent. Quoique la comète pût avoir par elle-même un mouvement assez fort pour vaincre d'abord celui du liquide où elle était entrée, il ne serait pas possible que ce mouvement ne s'affaiblît bientôt, et cela, sans que la grandeur apparente diminuât, et d'autant plus sensiblement que le cours visible de la comète serait plus long. Cependant, en supposant avec

(1) *Nouvelle explication*, p. 88-90.

M. Cassini que son mouvement soit égal en lui-même, dans tout le temps où nous la voyons, et qu'il n'y ait que la variation de la distance qui en fasse l'inégalité apparente, le calcul s'accorde avec les observations aussi parfaitement qu'on puisse souhaiter, ce qui n'arriverait pas, si le mouvement avait une diminution réelle, toujours plus grande et plus sensible. » (1)

Il semblerait qu'il ne devait pas y avoir loin de semblables réflexions à l'adoption de l'explication newtonienne, particulièrement simple et féconde. Aussi Fontenelle ne pouvait-il s'interdire de remarquer qu'en substituant le vide aux tourbillons, « on se délivrerait tout d'un coup de tous les embarras qui peuvent naître de ces directions de mouvements. » Mais il s'empressait d'ajouter que « ce moyen de lever une difficulté pourrait en avoir lui-même de très grandes. » (2)

9. — Des difficultés se manifestaient encore sur un point non moins essentiel dans le système cartésien : l'explication du mouvement de flux et de reflux de la mer. « Peut-être, disait Fontenelle en 1701 (3), la cause en est-elle découverte : et tout l'honneur en serait dû à Descartes. Mais, ce qui pourra paraître surprenant, on peut plutôt se flatter d'avoir le système, que s'assurer d'avoir les phénomènes avec assez d'exactitude » Aussi l'Académie avait-elle obtenu du comte de Pontchartrain, alors ministre de la marine, que des observations seraient faites dans tous les ports de France, suivant les indications fournies par un mémoire, rédigé, sous le contrôle de l'Académie, par les soins du P. Gouye et de de la Hire.

On se tint généralement sur la réserve en attendant les résultats de ces observations précises et concertées (4). Cepen-

(1) *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1708, p. 125-126.

(2) *Op. cit.*, p. 126.

(3) *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1701, p. 14.

(4) Nous pouvons nous contenter de signaler de Fenoyl un *Discours des observations et démonstrations des véritables causes du flux et du reflux des mers*, 1 vol., 1706.

dant Villemot, satisfait des applications de son principe à d'autres problèmes, s'attacha à en faire ressortir aussi les conséquences intéressantes sur ce point.

En reprenant le problème des marées, il commençait par une critique de la thèse cartésienne ; car, s'il faut bien admettre que la lune est la principale cause du mouvement de flux et de reflux, « on ne doit pas croire qu'elle puisse produire cet effet en pressant vers la terre, par sa seule masse, la matière qui coule entre deux ; car la grandeur de son globe est trop peu considérable pour resserrer un courant d'une si vaste étendue ; de même qu'un petit bateau n'est pas capable de resserrer le lit d'une grande rivière. » (1)

Mais, si la théorie cartésienne ne lui paraissait pas satisfaisante dans le détail, il tenait au contraire à en conserver le principe, c'est-à-dire la conception tourbillonnaire. Dès lors « il est plus vraisemblable que la lune cause les marées par son tourbillon, qui s'étend bien loin au-delà du globe de cette planète, comme on en peut juger par l'analogie du tourbillon de la terre : or c'est ce tourbillon de la lune, qui par le bas ayant un mouvement contraire à celui de la terre, doit faire une grande pression capable de faire refluer les eaux de la mer. Au reste le reflux devrait arriver dans chaque lieu, lorsque la lune est dans le méridien de ce lieu ; mais si l'on considère qu'il y a des endroits sous le même méridien, entre lesquels se trouvent des caps et des terres fort avancées, qui obligent les marées à faire de grands contours, on verra bien que, lorsque la lune se trouve dans le méridien de ces endroits, le reflux doit s'y faire plus difficilement, que lorsqu'elle arrive dans le méridien d'un autre lieu, d'où la mer peut refluer avec moins de peine. » (2)

Tandis que la concordance des marées aux antipodes s'expliquait d'un côté comme de l'autre d'une maniere analogue,

(1) *Nouvelle explication*, p. 224.
(2) *Op. cit.*, p. 226.

Villemot estimait trouver dans sa propre thèse le moyen d'écarter certaines difficultés insurmontables dans le système cartésien. Il en était ainsi notamment du fait que les marées sont toujours plus basses dans les quadratures que dans les syzygies. Certes Descartes avait pensé se tirer d'embarras en admettant que la lune était toujours plus éloignée de la terre dans les quadratures que dans les syzygies, et que la différence entre les effets tenait à une différence entre les distances. Mais il y avait là une généralisation prématurée, qui n'avait pas tardé à être contredite par des observations précises, dont les résultats s'étaient trouvés contraires à une constance dans le rapport entre l'éloignement plus grand de la lune par rapport à la terre et la période des quadratures. Au contraire tout devenait fort intelligible, au cas où, suivant l'idée de Villemot, le tourbillon de la terre ne serait pressé qu'en deux endroits normalement, et indépendamment de l'action de la lune, « savoir vers la partie inférieure où se trouve la lune quand elle est nouvelle, et vers la partie supérieure où elle se trouve quand elle est pleine, et qu'il n'est nullement pressé vers les côtés où la lune se trouve dans les quadratures ». En effet, « il est évident que la pression de la lune, se trouvant jointe avec celle de la matière céleste dans la pleine et dans la nouvelle lune, doit agir alors plus fortement que dans les quadratures, où la mer ne souffre que la seule pression de la lune. » (1)

L'embarras n'était pas moindre, dans le système cartésien, en présence d'un autre fait révélé par les observations : les marées sont plus hautes deux ou trois jours après les syzygies que dans les syzygies mêmes. Mais, selon l'explication de Villemot, il était « évident que la plus grande pression que souffre la terre ne doit pas se faire précisément au point le plus haut et le plus bas de l'orbe de la lune ; à cause qu'en cet endroit le cours de la matière se fait suivant la tangente;

(1) *Nouvelle explication*, p. 230.

mais que cette pression doit se faire à côté, où le courant heurte plus directement, justement à l'endroit où la lune se trouve deux ou trois jours après la conjonction et l'opposition. » (1)

10. — Dès que les résultats des observations faites dans les ports furent connus, réunis et commentés par Cassini (Jacques) dans les *Mémoires de l'Académie des sciences* de 1710, ce fut pour les cartésiens, et notamment pour Fontenelle, l'occasion d'insister sur la supériorité de l'explication de Descartes. Leur satisfaction était d'autant plus grande qu'ils avaient craint de se trouver poussés par des faits nouveaux vers l'explication newtonienne. « On apprend des faits nouveaux et importants, mais tout s'accommode assez bien avec la pression de la lune sur l'Océan, imaginée par Descartes. » (2)

Est-ce à dire qu'il n'y avait plus aucune difficulté ? Aucun cartésien n'aurait eu assez de parti pris pour le prétendre, et Fontenelle moins qu'aucun autre. Aussi reconnaissait-il volontiers que cette pression de la lune soulevait au contraire « de grandes difficultés ». « Comment, précisait-il, concevoir seulement qu'elle se fasse ? La lune est dans le tourbillon de la terre, comme y serait un volume égal de la matière céleste dans laquelle elle nage, elle y est en équilibre, et en vertu de quoi presse-t-elle ? Quand même elle entrerait, pour la première fois, dans le tourbillon de la terre, et y entrerait de force, il n'arriverait autre chose, sinon que dans toute l'étendue de ce tourbillon la matière qui le remplit se condenserait également et uniformément, autant qu'il serait nécessaire pour faire place à la lune, et par conséquent il ne ferait

(1) *Op. cit.*, p. 232. Nous laissons de côté d'autres particularités des marées également explicables dans la théorie de Villemot, mais sur lesquelles la supériorité de cette théorie sur celle de Descartes n'apparaissait pas de la même manière.

(2) *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1710, p. 6.

pas une plus grande pression sur l'étendue de l'Océan qui répond à la route de cette planète, que partout ailleurs ; cependant l'inégalité de pression est nécessaire pour abaisser les eaux entre les tropiques, et les élever vers les deux pôles.»

En présence de ce problème, la modification apportée par Villemot devait paraître une heureuse innovation, et l'idée de Descartes pourrait peut-être être rectifiée, de l'avis de Fontenelle, « en donnant à la lune un tourbillon particulier, qui, comme le tourbillon général de la terre, tournerait d'occident en orient, et dont par conséquent la moitié inférieure irait à l'égard de la terre d'orient en occident. Le mouvement de la matière qui composerait cette moitié serait donc opposé au mouvement de la matière du tourbillon général de la terre, et delà il suit que celle qui devrait passer sous la lune, toujours en même quantité, étant retardée par cette espèce d'obstacle qu'elle trouverait, et pressée entre la lune et la terre, presserait réciproquement l'une et l'autre, et par conséquent enfoncerait les eaux de l'Océan qui seraient au-dessous d'elle.

« Que cette hypothèse soit recevable ou non, concluait-il en laissant la question ouverte (1), il n'importe. Seulement il est bon de se faire cette image, ou quelque autre semblable pour entrer plus facilement dans les phénomènes du flux et du reflux, qui paraissent fort liés avec le mouvement de la lune. »

Pourtant l'expérience obligeait à rectifier la thèse même de Villemot sur quelques points, et notamment sur l'influence de la distance de la lune à la terre, trop négligée par l'auteur de la *Nouvelle explication* au profit de la position respective des deux astres. Car « ce qui est très considérable, et que M. Cassini a bien remarqué, c'est que la grandeur des marées a toujours rapport au plus ou moins de distance de la lune à la terre. Plus cette distance est grande, plus la marée est

(1) *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1710, p. 7.

petite, tout le reste étant égal. Rien ne convient mieux à l'hypothèse du tourbillon de la lune. Plus la lune, ou ce tourbillon dont elle est le centre, est proche de la terre, plus le passage de la matière céleste est rétréci et sa pression augmentée.

« Il y a donc, dans le système du tourbillon, deux principes qui se combinent ensemble pour la grandeur des marées, la proximité de ce tourbillon à la terre, qui varie dans tout le cours d'une lunaison, et la perpendicularité de son grand axe à la terre, qui est attachée aux nouvelles et pleines lunes. De là il est aisé de tirer les conséquences. La marée d'une quadrature où la lune aura été dans son périgée peut être aussi grande que celle d'une conjonction ou d'une opposition où la lune aura été dans son apogée, etc. Ces conséquences sont des faits constants par les observations, et indépendants de toute hypothèse. » (1)

Cassini ne devait pas tarder à insister de nouveau sur cette modification importante, en y ajoutant encore un nouvel élément, pour tenir compte de la pression du soleil. « Nous supposons, disait-il (2), que le flux et le reflux de la mer peuvent être attribués à la pression du soleil et de la lune sur la matière céleste qui environne la terre, mais beaucoup plus à la pression de la lune, qui en est proche, qu'à celle du soleil, qui en est plus éloigné.

« Dans les nouvelles et pleines lunes, où le soleil et la lune sont à peu près dans la même direction à l'égard de la terre, ces deux planètes occupant une place dans la matière qui environne la terre, compriment la matière céleste dans laquelle la terre se rencontre, et pressent les eaux de la mer, qui sont obligées de céder et de refluer de côté et d'autre du lieu où se fait cette pression, à la distance de 90 degrés où la mer doit être à sa plus grande hauteur. Dans les autres

(1) *Op. cit.*, p. 11-12.

(2) *Du flux et du reflux de la mer*, in *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1712, p. 124.

situations de la lune à l'égard du soleil, l'effet de la lune agissant d'un sens différent à celui du soleil, il doit y avoir moins de pression sur la terre, et par conséquent la mer doit être moins basse dans son reflux, et moins haute dans son flux. Enfin, dans les quadratures, l'effet du soleil étant opposé à celui de la lune, la pression causée par la lune doit être détruite en partie, et la mer doit être plus élevée dans le temps de la basse mer, et moins haute le temps de la pleine mer, comme on l'observe en effet.

« A l'égard des diverses distances de la lune à la terre, elles doivent causer un effet sensible sur la hauteur des marées. Car la pression de la lune sur la terre doit être plus forte lorsqu'elle est plus près de la terre que lorsqu'elle en est éloignée, puisque le mouvement qui se communique de près dans un fluide, agit avec plus de force que celui qui se communique à une plus grande distance ; ce qui se remarque dans un liquide qu'on met en mouvement, dont les parties les plus proches du lieu où le mouvement commence, sont plus agitées que celles qui en sont plus éloignées. »

Le sens de ces modifications successives à la théorie cartésienne ne saurait échapper ; et il est d'autant plus intéressant que sa continuité même met plus directement en relief son caractère de préparation implicite de l'adoption du newtonianisme, plus apparemment que profondément heurté. Certes la persistance à tout expliquer par les tourbillons continuait à faire l'unité explicite de ces diverses théories ; mais, derrière cette unité de façade, nous pourrions presque dire à étiquette cartésienne, se cachait une unité plus fondamentale et plus réelle, qui, sans aucun appel aux explications de Newton, en supposait néanmoins la fécondité. Réintroduire, à côté de la position de la lune comme cause de l'ampleur des marées, sa plus ou moins grande proximité, puis, de la considération de l'action isolée de la lune, passer à celle de l'influence combinée de cet astre et du soleil, n'était-ce pas en effet faire, sans le vouloir certes, et *a fortiori* sans le cher-

cher, mais réellement, entrevoir l'efficacité de l'attraction dans un tel domaine. On reculait seulement devant la conclusion, qui ne pouvait manquer cependant d'apparaître comme la plus logique, en même temps que l'explication la plus simple des faits.

Plus nous avançons et plus la chose paraît se préciser. En effet, si Cassini, dans un mémoire de 1713, admettait encore que l'on avait « tout sujet de conjecturer » que le mouvement des marées se fait par une espèce d'impulsion, il éprouvait néanmoins combien l'explication cartésienne soulevait de difficultés, en présence d'un phénomène aussi complexe que celui des marées. En effet, « quoique toutes les observations s'accordent à prouver que les diverses distances de la lune à la terre contribuent beaucoup aux diverses élévations que l'on observe dans les marées ; on ne prétend point qu'elles soient seules la cause de toutes les variations que l'on y remarque, et il paraît même qu'il y a d'autres causes qui peuvent concourir à faire augmenter et diminuer la hauteur des marées. On ne parle point ici de ces causes accidentelles, dont il serait difficile de donner des règles, comme, par exemple, de la force et de la situation des vents, de la direction différente des côtes de la mer, qui non seulement peuvent faire accélérer ou retarder le temps des marées, mais même y causer des élévations différentes. Mais on entreprend seulement de déterminer celles qui ont quelque période réglée. » (1)

En ce qui concerne seulement l'action de la lune, la nécessité apparaissait de tenir compte, indépendamment de la diverse distance de la lune à la terre, de « sa proximité ou son éloignement de l'équinoxial ». Car, après avoir rapporté diverses observations, Cassini ajoutait : « Il paraît par là que les diverses hauteurs que l'on observe dans les marées des équinoxes et des solstices, ne doivent point se régler précisément

(1) *Réflexions sur des nouvelles observations du flux et du reflux de la mer, faites au port de Brest dans l'année 1712*, in *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1713, p. 22-23.

sur les temps des équinoxes et des solstices, mais sur la plus grande ou plus petite déclinaison de la lune à l'égard de l'équinoxial. Car, le soleil étant dans l'équinoxe du printemps, et la lune dans son dernier quartier, c'est-à-dire, dans les signes méridionaux, la hauteur de la marée doit être beaucoup plus petite, lorsque la latitude de la lune est méridionale, que lorsqu'elle est septentrionale ; et par la même raison, le soleil étant dans le solstice d'été dans le temps de la nouvelle lune, la hauteur de la marée doit être plus petite, lorsque la latitude de la lune est septentrionale, que lorsqu'elle est méridionale.

« On peut donc tirer de ces observations ces deux règles générales.

1° Que, toutes choses égales, les marées doivent être plus petites, lorsque, la lune étant dans son apogée et dans les signes méridionaux, sa latitude est en même temps méridionale, ou bien lorsque, la lune étant dans son apogée et dans les signes septentrionaux, sa latitude est aussi septentrionale.

2° Qu'au contraire les marées doivent être plus grandes, lorsque la lune, étant dans son périgée, parcourt l'équinoxial sans aucune déclinaison. » (1)

« On pourrait croire, remarquait Fontenelle, soucieux de concilier ces règles avec l'hypothèse de la pression de la lune (2), que, quand la lune est dans l'équateur, elle agit par ce grand cercle sur la surface de la mer, et par conséquent y cause une plus grande pression, que quand elle est dans tous les autres cercles parallèles à l'équateur, qui ne sont que de petits cercles, et qui vont toujours en diminuant. Cette idée assez vraisemblable peut avoir cependant quelque difficulté. Les phénomènes du flux et du reflux demandent nécessairement que, quand la lune presse un endroit quelconque du globe terrestre, la pression ou le contre-coup de la pression soit le même dans l'endroit diamétralement opposé. Or, si la lune, en quelque situation qu'elle soit, agit toujours à la fois sur

(1) *Op. cit.*, p. 28-29.
(2) *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1713, p. 2.

deux endroits du globe diamétralement opposés, elle agit toujours par un grand cercle. Malgré cela, il semble toujours qu'elle doit agir différemment lorsqu'elle est dans un grand cercle ou dans un petit, et que de ce qu'elle sera dans un petit, et agira par un grand, il doit résulter quelque action moyenne. Mais il ne faut pas prétendre encore à établir un système, et c'est bien assez que de s'assurer des faits. »

Dans un second mémoire, présenté la même année à l'Académie des sciences (1), Cassini concluait « qu'il y a quatre causes qui contribuent aux différentes hauteurs qu'on observe dans les marées. La première dépend des diverses situations de la lune à l'égard du soleil, et produit les variations que l'on observe dans la hauteur des marées, depuis les nouvelles et pleines lunes jusqu'aux quadratures. La seconde est produite par les diverses distances de la lune à la terre, les marées étant plus grandes, lorsque la lune est près de son périgée que lorsqu'elle est près de son apogée. La troisième est produite aussi par les diverses distances du soleil à la terre, les marées étant plus grandes lorsque le soleil est dans son périgée que lorsqu'il est dans son apogée. Enfin la quatrième dépend de la distance de la lune à l'équinoxial, les marées étant plus petites lorsque la lune a une grande déclinaison que lorsqu'elle est près de l'équateur. Cette dernière cause produit aussi les variations que l'on observe dans les marées qui arrivent dans un même jour. Ces variations se doivent apercevoir diversement en différents lieux de la terre. Elles doivent être nulles dans les pays qui sont sous la ligne équinoxiale, mais elles sont très sensibles dans les pays septentrionaux et méridionaux, suivant que la déclinaison de la lune est plus ou moins septentrionale ou méridionale. » (2)

Plus encore même que cette dernière cause, dont nous avons vu déjà Fontenelle essayer d'expliquer l'action dans le système

(1) *Réflexions sur les observations des marées*, in *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1713, p. 357.
(2) *Op. cit.*, p. 387-388.

de la pression, la troisième était de nature à inquiéter les cartésiens et à leur faire concevoir des doutes sur la vérité de l'hypothèse des tourbillons. Aussi en voyons nous quelques-uns, tels que Fontenelle, résister à l'accepter. « Peut-être, proposait-il (1) avec un air de réserve prudente, qui risquait bien d'être pris pour de la prévention, ne faut-il pas se presser de donner part au soleil dans ces phénomènes, la lune paraît trop y dominer ; et, si le soleil y contribuait, il faudrait changer tout le système de la pression de la lune pour trouver quelque espèce d'action qui pût être commune aux deux astres. »

L'attraction répondait d'ailleurs si bien à ce tels desiderata que Cassini, moins timide que Fontenelle vis-à-vis du newtonianisme, ne pouvait s'abstenir, en établissant un parallèle entre les thèses cartésienne et newtonienne, de laisser paraître quelque préférence à l'égard de cette dernière. Certes « ces deux hypothèses, à son avis (2), quoique fort différentes dans leurs principes, semblent pouvoir rendre également raison de tous les phénomènes qu'on observe dans les marées. » Pourtant il n'hésitait pas à montrer que c'était précisément en se séparant de Descartes qu'il avait reconnu l'action du soleil. En effet l'idée cartésienne que la lune est plus près de la terre dans les syzygies que dans les quadratures « ne s'accorde pas toujours aux observations astronomiques ; car il est vrai que la lune étant dans les syzygies, et en même temps dans son périgée, est plus près de la terre que dans toute autre phase ; mais on ne peut pas conclure de là que le petit axe du tourbillon de la terre, lequel emporte la lune, soit toujours dirigé vers le soleil : car il arrive souvent que la lune est plus près de la terre dans les quadratures que dans les syzygies, et cependant on observe toujours que, dans les quadratures, les marées sont plus petites que dans les syzygies.

« On ne peut donc point attribuer la cause des grandes marées, dans les nouvelles et pleines lunes, à la proximité de

(1) *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1713, p. 7.
(2) *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1713, p. 373.

la lune à la terre, et celle des petites marées, dans les quadratures, à son éloignement; et c'est ce qui nous donna lieu de conjecturer, que le soleil, aussi bien que la lune, concourrait à produire la hauteur des marées, quoique son effet fût moins considérable que celui de la lune; que dans les syzygies, ces deux causes agissant suivant la même direction, les marées devaient être plus grandes que vers les quadratures, où le soleil agissait dans une direction perpendiculaire à celle de la lune. » (1)

Assurément Cassini prétendait associer la pression du soleil à celle de la lune, et non combiner leur attraction ; mais ce n'en était pas moins, à l'abri des mots, rejoindre implicitement Newton, comme c'était encore se rallier virtuellement au système de ce savant qu'insister aussi sur cette dépendance de la hauteur des marées par rapport à la déclinaison de la lune, alors que le phénomène en question avait été mis d'abord en lumière et expliqué par Newton.

Et c'était encore Newton que rejoignait, derrière le rideau des systèmes, le même Cassini dans son mémoire de 1714, où il mettait en évidence l'influence de la déclinaison du soleil sur les marées, cette déclinaison contribuant, ainsi que celle de la lune, à diminuer la hauteur des marées. En effet « il faut remarquer que le soleil dans son apogée se trouve près du solstice d'été avec une déclinaison méridionale ; que vers les équinoxes, il est à peu près dans sa moyenne distance sans déclinaison, et que dans le solstice d'hiver il se trouve près de son périgée avec une déclinaison septentrionale. L'effet du soleil sur les marées doit donc être le plus petit qui soit possible vers le solstice d'été. Il doit être plus grand vers le solstice d'hiver, à cause qu'il est dans son périgée ; mais comme la déclinaison du soleil est alors fort grande, et que l'action qui résulte de ses différentes déclinaisons est plus forte que celle qui est causée par les diverses distances du

(1) *Op. cit.*, p. 371-372.

soleil à la terre, l'effet sur les marées doit être moindre que vers les équinoxes où le soleil se trouve à peu près dans les moyennes distances sans aucune déclinaison. Ainsi la marée du 17 mars de cette année devait être fort grande, conformément à l'observation. » (1)

Par contre, il est vrai, c'était à Descartes que Cassini allait expressément demander, dans le même mémoire, l'explication du retard des marées hautes et basses par rapport aux syzygies et aux quadratures. Ce retard, qui est ordinairement d'un ou deux jours d'après le plus grand nombre des observations, « paraît être une preuve que la lune est le principe et la cause des marées. Car cette parfaite correspondance qui se trouve entre les mouvements de la lune et ceux de la mer ne peut être produite que par quelque mouvement dans la terre qui soit

(1) *Réflexions sur de nouvelles observations des marées faites dans le port de Brest*, in *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1714, p 332.

Pourtant, Cassini ne pouvait se décider à parler d'attraction. En 1720 encore, il essayait, au contraire, de retrouver dans le système cartésien la possibilité d'une explication satisfaisante de tous les phénomènes: « Nous avons déjà remarqué que le système de Descartes sur le flux et sur le reflux de la mer, est favorable à notre opinion, que le soleil contribue à la hauteur des marées; et il n'aurait pas manqué d'en faire l'application s'il avait eu, comme nous, la connaissance des diamètres apparents de la lune. Car de dire que le tourbillon de la terre est toujours aplati du côté qu'elle regarde le soleil, ou de soutenir que le soleil fait une pression sur le tourbillon de la terre qui peut se communiquer jusque sur les eaux de la mer, cela revient à peu près au même, puisque l'un résulte de l'autre, et qu'il ne s'agit que de savoir de combien est cet aplatissement et jusqu'à quel degré cette impression se peut faire sentir sur les eaux de la mer; ce qu'il est plus aisé de reconnaître par l'expérience que par aucun raisonnement physique, qui supposerait que l'on connût parfaitement la consistance et la densité de la matière céleste qui nous environne.

« Il suffit donc de supposer la lune dans le tourbillon de la terre, sans qu'elle se trouve précisément vers les extrémités, et alors notre système sera précisément le même que celui de Descartes et se réduit à deux éléments bien simples, savoir que le soleil et la lune concourent à la hauteur des marées, suivant que ces deux astres sont plus près ou plus éloignés de la terre et qu'ils ont plus ou moins de déclinaison à l'égard de l'équinoxial. » (*Réflexions sur les observations des marées faites au port de Lorient*, in *Mémoires de l'Académie des Sciences* 1720, p. 207-208).

le principe des mouvements de la lune, ou par quelque autre cause inconnue qui influe en même temps sur la terre et sur la lune, ou enfin par la pression de la lune. Si les marées étaient produites par quelque mouvement de la terre, l'effet devrait se faire sentir premièrement sur la mer et ensuite se communiquer à la lune ; ainsi, bien loin que les grandes et petites marées et tous les phénomènes qu'on y observe suivissent les phases de la lune, elles devraient les précéder, ce qui est contraire à l'expérience. Si c'était une même cause qui agit en même temps sur la lune et sur la mer, les temps des marées se feraient de concert avec les mouvements de la lune, et les différents changements qu'on y observe s'apercevraient en même temps que les diverses phases de cette planète.

« Il reste donc à conclure que c'est la lune qui est le principe du mouvement des marées, puisque la pression qu'elle y cause ne s'aperçoit point dans l'instant, mais quelque temps après, suivant les lois ordinaires du mouvement qui se communique d'un corps à l'autre par la succession du temps. » (1)

(1) *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1714, p. 328-329. Cette persistance de l'esprit cartésien, même chez ceux qui paraissaient devoir le moins rester soumis à cette emprise, à cause de leurs travaux et du sens dans lequel leurs observations les engageaient à pousser leurs recherches, nous permet de comprendre d'autant mieux la signification de tentatives telles que celle du P. Aubert dans sa *Réponse à une difficulté proposée contre le système de Descartes sur le flux et le reflux de la mer.* Le passage suivant en marque très nettement la tendance : « Le système de M. Descartes sur le flux et le reflux de la mer est si ingénieux et si vraisemblable qu'on doit souhaiter qu'il soit entièrement vrai. Il n'est pas possible d'expliquer avec plus de justesse et de netteté le retardement des marées égal au retardement du passage de la lune par le méridien, les grandes marées des équinoxes, des nouvelles et des pleines lunes, et la longueur pour ainsi dire du flux et du reflux dans les quadratures de cet astre. Certainement, quand il n'y aurait point d'autres preuves de la bonté de ce système que cet amas de circonstances si bien expliquées, il formerait une espèce de démonstration en sa faveur, que ne pourraient pas détruire une ou deux difficultés auxquelles on ne trouverait pas de réponse. C'est, en effet, un axiome reçu dans toutes les sciences qu'il ne faut pas abandonner une opinion bien établie pour quelques objections dont nous ne voyons pas le dénouement. » (*Journal de Trévoux*, juillet 1717, p. 1115-1116).

11. — Ainsi donc, qu'il s'agît du mouvement des planètes, de la pesanteur, du cours des comètes ou du phénomène des marées, la question se présentait toujours, lorsqu'il s'agissait de choisir entre l'explication cartésienne et celle de Newton, comme une option dirigée par la nécessité de mettre les résultats des calculs en accord avec les phénomènes observés. Toutes les tentatives auxquelles nous venons d'assister nous ont montré qu'à la commodité relative de l'explication newtonienne, la plupart des rectifications proposées par les cartésiens n'opposaient que des complications nouvelles du système des tourbillons : la grande majorité de ces modifications en effet supposaient de nouvelles hypothèses, ou sur les modalités du mouvement, ou sur les intermédiaires dans la transmission du mouvement, ou sur la composition des mobiles. Et c'est parce qu'ils éprouvaient eux-mêmes combien ces hypothèses apportaient sans cesse une complexité plus grande aux divers problèmes, que les disciples, plus ou moins intransigeants, de Descartes se sentaient attirés comme malgré eux vers la théorie newtonienne. S'ils mettaient, en quelque sorte, leur amour-propre dans leur résistance au courant, qui à chaque instant risquait de les emporter, ils consacraient à cette résistance toute la sagacité et toute la subtilité qui leur paraissaient seules susceptibles de parer aux difficultés et d'écarter les objections. Pour réussir dans leur tâche, ils ne se dissimulaient pas la nécessité dans laquelle ils se trouvaient d'anticiper, pour ainsi dire, sur le déroulement du débat, et de résoudre par avance les problèmes dans lesquels ils pouvaient prévoir la source de difficultés nouvelles. De là leur constante vigilance et leur curiosité toujours en éveil à l'égard des résultats fournis par l'expérience, avec laquelle, en dépit des tendances de la méthode cartésienne, ils se sentaient de plus en plus obligés de compter.

Cette attitude, que nous avons déjà relevée dans les remarques précédentes, se retrouve dans les recherches entreprises à la même époque par Saulmon. Villemot avait cherché à faire

disparaître le désaccord que, dans sa proposition LII du livre second des *Principes*, Newton avait établi entre les lois du mouvement circulaire des fluides, auxquelles devrait obéir le monde dans l'hypothèse des tourbillons, et la règle de Képler établie sur les observations. Saurin ayant repris, à la fin de son mémoire de 1709, l'examen de cette proposition de Newton, avait adopté une attitude bien différente, en essayant d'échapper à la nécessité des conclusions tirées par Newton de ses calculs. « Je passe, disait-il (1), un grand nombre de réflexions qu'il y aurait à faire sur la démonstration de M. Newton : je veux bien la recevoir; mais, en la recevant, je ne laisse pas de rejeter la conclusion qu'il en tire contre nos tourbillons. Elle n'a de force qu'en vertu de la supposition gratuite que M. Newton fait d'un fluide parfaitement uniforme, et partout d'une égale fluidité, et d'une résistance de la part des surfaces dans la raison de la vitesse. Mais si l'on suppose que la fluidité augmente à mesure que l'on s'éloigne du centre, ou que l'on suppose une résistance plus grande que dans la raison de la vitesse, on retrouvera sans peine le même rapport que donne la règle. Ce que nous disons ici n'a pas échappé à l'exactitude de M. Newton ; il l'a très expressement remarqué, mais il se contente de dire que ces suppositions ne seraient pas raisonnables. »

Saulmon ne reprenait pas cette même proposition de Newton, mais il examinait, dans le même esprit, un problème offrant quelque analogie avec la proposition précédente du même auteur, où il se trouvait établi que « si un cylindre solide infiniment long tourne autour d'un axe donné de position par un mouvement uniforme, dans un fluide homogène et infini, que le fluide soit tourné en rond par cette seule impulsion, et que chaque partie du fluide continue uniformément dans son mouvement ; les temps périodiques des parties du fluide seront comme leurs distances de l'axe du

(1) *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1709, p. 186.

cylindre. » (1) Cependant, au lieu de considérer un cylindre mettant en mouvement un fluide par communication de son propre mouvement, Saurin, pour rapprocher les données de son problème des conditions dans lesquelles les planètes seraient emportées par un fluide ou tourbillon presque immense dans lequel elles seraient plongées (2), se proposait d' « examiner géométriquement l'impression que ferait sur un corps solide un fluide qui, à la manière d'un tourbillon, tournerait autour d'un axe. Et pour rendre la question plus simple, il veut que ce tourbillon soit cylindrique, et que le solide qui y est plongé soit aussi un cylindre.

« Mais la question réduite à cette simplicité est encore bien compliquée. On suppose de plus, pour la débarrasser d'autant, que l'axe du cylindre plongé est parallèle à l'axe du tourbillon cylindrique autour duquel se fait le mouvement. Après cela les circonférences circulaires du fluide auront différentes vitesses selon qu'elles seront plus ou moins éloignées de l'axe du tourbillon, ou, ce qui est le même, les temps de leurs révolutions périodiques seront différents selon une certaine proportion. Les densités du fluide peuvent encore être différentes selon les différentes distances des circonférences circulaires à l'axe, et il est évident que l'impression que le solide recevra du fluide, dans le premier instant qu'il en sera frappé, sera d'autant plus grande, que les circonférences circulaires qui le frapperont auront et plus de vitesse et plus de densité ou de masse. Cette vitesse et cette densité multipliées l'une par l'autre feront la force absolue dont le cylindre sera frappé,

(1) *Principes mathématiques de la philosophie naturelle*, trad. de Mme du Châtelet, I, p. 413.

(2) Cela manifestait spécialement l'esprit cartésien de cette tentative inspirée d'autre part de la méthode de Newton. La première phrase du mémoire est particulièrement typique : « Les principaux phénomènes de la nature consistant en des mouvements de corps durs poussés par des liquides ou des fluides, toute la physique du ciel en dépend.» (*Du mouvement d'un cylindre plongé dans un tourbillon cylindrique*, in *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1712, p. 368).

et l'on voit par conséquent que cette force variera selon ces différentes distances du cylindre à l'axe du tourbillon.

« Pour réduire encore la question, M. Saulmon ne considère sur la surface du cylindre que le cercle du milieu, et sur ce cercle un seul point quelconque frappé par le fluide et frappé un seul instant. De là il suit que l'impression faite par le fluide sur ce point ne sera que la différentielle, ou l'infiniment petit, de celle qui serait faite sur le cercle entier pendant le même instant.

« Selon cette idée, il entre une nouvelle considération dans la force absolue dont le point est frappé. En quelque endroit que le cylindre soit placé dans le tourbillon, pourvu que leurs deux axes ne soient pas le même, ce qu'il est clair qu'on ne peut supposer ici, on voit qu'il n'y aura qu'une moitié de cette circonférence circulaire que l'on regarde seule dans le cylindre, qui sera frappée par le fluide qui tourne en un certain sens, et que l'autre moitié sera entièrement à couvert du choc. Mais ce point que l'on regarde seul sur cette demi-circonférence, n'étant point déterminé, sera plus ou moins éloigné de la demi-circonférence qui ne sera point frappée, et plus ou moins avancé sur celle qui le sera ; et selon cette différente situation, il sera frappé par un arc ou par un filet circulaire du fluide plus ou moins long. Or cette différente longueur, et peut-être même la différente partie qui en est employée à frapper, rend la masse du filet qui frappe plus ou moins grande, et par conséquent la force absolue de ce filet est composée de sa longueur, de sa densité et de sa vitesse.

« La force absolue de ce filet étant ainsi établie, son impression sur le point ou côté infiniment petit du cylindre dépend de sa direction à l'égard de ce côté, ou, ce qui est la même chose, de la position qu'auront l'un à l'égard de l'autre, le dernier côté infiniment petit du filet circulaire frappant, et le côté infiniment petit frappé dans le cylindre, c'est-à-dire, les deux tangentes en ces points-là. Ces deux tangentes étant obliques l'une à l'autre, le filet circulaire frappe donc le point

du cylindre avec une direction oblique et par conséquent la force absolue de ce filet se décompose et se résout en deux forces, dont l'une agirait perpendiculairement, et l'autre parallèlement à un diamètre du cercle frappé. Par cette décomposition, on voit, selon la méthode ordinaire, quelle doit être et la direction et la vitesse du point frappé.

« Maintenant il faut exprimer algébriquement l'impression faite sur ce point, ce qui demande un grand calcul. L'expression algébrique trouvée ne sera, comme nous l'avons dit, qu'une différentielle, dont l'intégrale, si on la peut avoir, sera l'impression faite par le fluide sur la demi-circonférence entière du cylindre et cette intégrale multipliée par la hauteur du cylindre sera l'impression faite sur le cylindre entier. » (1)

Aussi intéressante que fût cette méthode, elle n'était pas cependant en état de prévenir, ainsi que nous le disions plus haut, les difficultés éventuellement fournies par l'expérience; et c'était jusque-là pourtant que prétendait aller Saulmon. Aussi ne tarda-t-il pas à chercher dans l'analogie la possibilité de tirer quelques conclusions sur les mouvements des astres de certaines *Expériences sur des corps plongés dans un tourbillon* (2). Conservant son même point de départ cartésien, et considérant que « le mouvement circulaire des fluides produit des effets considérables en la nature, tels que sont la pesanteur et les révolutions périodiques des planètes » (3), il s'attacha à perfectionner la technique expérimentale dont Huygens avait donné l'exemple dans la construction d'un dispositif ingénieux.

Cependant Huygens, en faisant tourner sur un pivot le vase dans lequel il réussissait à former par ce mouvement giratoire un tourbillon artificiel, n'avait pas, de l'avis de Saulmon, réalisé des conditions suffisamment favorables aux expériences ; « car, alors toutes les parties de l'eau et les corps

(1) *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1712, p. 99-102.
(2) *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1714, p. 493. et suiv.
(3) C'est la première phrase du mémoire, *op. cit.*, p. 493.

plongés dedans achèvent leur révolution autour de l'axe à peu près en même temps. » (1) Bien plus, « son vase étant fort étroit, fort court et fermé par en haut d'une glace de verre, ne permet de faire aucune expérience sur la surface de l'eau, ni au milieu. Au contraire, le vase dont je me sers, continuait Saulmon (2), étant fort large, fort haut et ouvert, permet de faire avec assez de précision trois sortes d'expériences, les unes sur la surface de l'eau, les autres entre deux eaux, et les dernières au fond de l'eau. »

En effet, le vase dont se servait Saulmon, avait dix-huit pouces et demi de diamètre intérieur et quinze pouces de hauteur. Il était rempli d'eau jusqu'à une hauteur de onze pouces et demi ; et, tandis qu'il restait immobile sur un plan horizontal, le mouvement giratoire était communiqué à l'eau au moyen d'une canne. « La canne étant retirée, l'on voit un tourbillon qui s'élève d'abord jusqu'aux bords du vase, et qui, diminuant peu à peu de hauteur, persévère fort longtemps avec une espèce de régularité, semblable en quelque sorte à celle qu'il aurait s'il avait été produit par des machines dont le mouvement fût uniforme et régulier. Car, si le tourbillon était produit par de telles machines, et qu'on mît des corps nager sur sa surface, ils devraient alors achever leurs révolutions autour de l'axe du tourbillon plus vite, lorsqu'ils seraient plus proches de l'axe. L'expérience le confirme dans le tourbillon qui se forme. Car, si j'y mets en même temps deux corps égaux et semblables qui nagent sur la surface, l'un près des bords du vase, et l'autre à une distance moyenne entre les bords et l'axe du tourbillon, le corps le plus proche de l'axe fait à peu près deux révolutions autour de l'axe, pendant que l'autre corps n'en fait qu'une ; ce qui arrive quand le tourbillon est devenu régulier. Sa régularité commence lorsqu'il s'est abaissé environ d'un pouce et demi. » (3)

(1) *Op. cit.*, p. 494.
(2) *Op. cit.*, p. 495.
(3) *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1714, p. 494

Fontenelle, en rendant compte de cette tentative, mettait en lumière l'ingéniosité de la méthode : « Rien, disait-il (1), ne serait plus glorieux à la physique, secourue de la géométrie, que d'avoir découvert comment les lois de la mécanique que nous connaissons produisent les mouvements célestes, et, comme il y a toute l'apparence possible que c'est à ces mouvements que tient la cause générale de la pesanteur, on aurait en même temps l'explication d'un phénomène si commun et si difficile. Mais, parce que les raisons *a priori* nous sont ordinairement trop cachées, il faut tâcher d'y remonter peu à peu par des expériences et nous faire des cieux artificiels, c'est-à-dire des fluides mus circulairement, qui emporteront des corps, images des planètes, ou des corps pesants. »

Les expériences rigoureusement poursuivies par Saulmon, soit à la surface, soit au milieu, soit au fond du tourbillon, et avec des corps très différents et comme masse et comme forme, le laissèrent quelque peu indécis sur les conclusions générales à en tirer concernant la pesanteur. En effet, « ce qui en résulte, constatait Fontenelle (2) avec quelque déception, est précisément le contraire de ce qui aurait été à souhaiter pour le système de la pesanteur, ce sont les corps les plus massifs qui ont le plus de dispositions à s'éloigner de l'axe. Mais ce n'est pas là tout à fait un sujet de désespérer pour ceux qui sont accoutumés aux recherches ; quelquefois ce qui semblait d'abord les jeter bien loin du but, les y conduit. »

Ainsi les cartésiens, tout en reconnaissant les difficultés, ne désespéraient pas de les faire disparaître et d'en triompher tôt ou tard ; et c'est pourquoi ils restaient à la fois actifs et persévérants dans les divers domaines. Et, comme les expériences de Saulmon leur paraissaient précisément être un sujet dont on pouvait beaucoup attendre, ils s'intéressèrent vivement à leur

(1) *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1714, p. 131.
(2) *Op. cit.*, p. 136.

continuation (1). L'idée qu'eut Saulmon de ne pas attendre, dans la suite de ses expériences, que l'eau eût retrouvé à peu près sa hauteur normale dans le vase, mais d'étudier les mouvements des corps plongés dans ce tourbillon artificiel, au cours des diverses phases qui le ramenaient progressivement à son niveau, en partant de sa forme intérieure de cône creux renversé prolongé plus ou moins bas, parut tout à fait ingénieuse à Fontenelle. En effet, « il faut passer par la connaissance de ces tourbillons variables, pour arriver à celle des tourbillons constants, tels que les célestes. » (2)

En même temps d'ailleurs que Saulmon variait les conditions du tourbillon, il élargit le domaine de ses expériences d'une autre manière encore, en ne considérant plus seulement l'approche ou l'éloignement des corps par rapport à l'axe du tourbillon, mais aussi « le mouvement circulaire des corps, soit autour de l'axe du tourbillon, soit autour de leur propre centre, c'est-à-dire autour d'un axe particulier passant par leur propre centre, et toujours à peu près perpendiculaire à un plan qui toucherait la surface du tourbillon à l'endroit où elle est coupée par cet axe » (3). Fontenelle proposait d'appeler, par opposition aux révolutions cylindriques faites autour de l'axe du tourbillon cylindrique ou cylindroïde, révolutions sphériques « celles que les corps font autour de leurs propres centres, parce qu'elles se font autour de l'axe d'une sphère si ces corps sont ronds, ou autour d'un axe équivalent, s'ils ne le sont pas. » (4)

Or, les résultats de ces nouvelles expériences apportaient des précisions intéressantes sur ces révolutions sphériques des corps plongés dans un tourbillon cylindrique ou cylindroïde. Un

(1) *Des corps plongés dans un tourbillon* et *De la courbure du tourbillon cylindroïde* in *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1715, p. 83 et 138. *Expériences faites dans un tourbillon cylindroïde* et *Suite du tourbillon cylindroïde* in *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1716, p. 44 et 311.

(2) *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1715, p. 85.

(3) *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1716, p. 44.

(4) *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1716, p. 85.

des plus importants parmi ces résultats établissait que les corps, de quelque figure qu'ils soient, globes, disques, cylindres, cônes, cônes tronqués, cubes, ne faisaient pas leurs révolutions cylindriques sans en faire aussi de sphériques. D'où l'on pouvait conclure que la révolution sphérique est un effet nécessaire de la révolution cylindrique. Conclusion particulièrement avantageuse pour l'explication cartésienne ; car « à ce compte, l'hypothèse du tournoiement de la lune autour de son axe en un mois ne serait plus une hypothèse, mais une suite nécessaire de sa révolution autour de la terre. » (1) D'ailleurs, la concordance entre les deux sortes de mouvements apparaissait telle, d'après les expériences, que ce n'était pas seulement le double mouvement de la lune qui se trouvait expliqué, mais aussi la coïncidence du temps de révolution de cet astre autour de la terre avec le temps de sa rotation sur lui-même. En effet, au moment où, dans le tourbillon artificiel de Saulmon, la rapidité et l'uniformité du mouvement se trouvaient réalisées simultanément dans les conditions les plus favorables, des globes (2) d'une certaine pesanteur faisaient une révolution sphérique dans le même temps précisément qu'ils en faisaient une cylindrique (3).

Quant au sens dans lequel se faisait la révolution sphérique, il était déterminé de telle sorte que, pour l'imaginer, il suffisait de supposer l'impulsion donnée par le tourbillon appliquée d'abord à la partie du corps tournée vers les bords du vase, quelles que soient d'ailleurs les inégalités présentées par

(1) Fontenelle. *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1716, p. 87.

(2) Les disques n'étaient pas à cet égard si réguliers que les globes. Les uns commençaient par faire moins de la moitié d'une révolution sphérique pendant une cylindrique, puis en faisaient juste une moitié pour revenir enfin à moins d'une moitié. D'autres, après avoir commencé par plus d'une moitié, revenaient jusqu'à moins d'une moitié pour finir par plus. D'autres encore présentaient des irrégularités plus déconcertantes.

(3) La difficulté devenait alors de comprendre comment les rotations diurnes des planètes sont beaucoup plus courtes que leurs révolutions annuelles.

la surface dans le côté tourné vers l'axe du tourbillon (1). Or, « cela s'accorde, remarquait encore Fontenelle avec une visible satisfaction (2), avec les phénomènes célestes; car le mouvement du tourbillon du soleil étant d'occident en orient, la partie de la terre opposée au soleil sera donc celle qui sera frappée selon une direction d'occident en orient et, par conséquent, la terre fera en ce sens-là sa révolution sphérique ou diurne. Il en va de même des autres planètes. Si elles étaient frappées par leur partie tournée vers le soleil, leurs révolutions diurnes seraient du sens contraire. »

« Il faut avouer, reconnaissait cependant le secrétaire de l'Académie des Sciences (3), que ces conséquences tirées du tourbillon d'eau aux tourbillons célestes sont un peu hasardées, et même jusqu'à présent anticipées. Ce tourbillon d'eau n'imite les célestes que fort imparfaitement. Ceux-ci ont un mouvement toujours entretenu, soit par leur centre où est le soleil qui tourne toujours, soit par leur circonférence, ce qui est cru le moins vraisemblable. Ils n'ont que des bords presque infiniment éloignés, et dont les réflexions n'altèrent point les mouvements directs et primitifs ou, si l'on veut, les altèrent autrement que ne feraient les bords immobiles d'un vase, car les bords d'un tourbillon céleste sont des portions des circonférences d'une infinité d'autres tourbillons en mouvement. Enfin chaque planète est, par rapport au tourbillon du soleil, presque infiniment plus petite que ne l'est, par rapport au tourbillon d'eau, aucun corps qu'on y puisse observer. Cependant, quand toutes les ressemblances et les différences des deux espèces de tourbillons auront été bien pesées, il y a lieu d'espérer qu'on tirera des lumières de la comparaison.

12. — Les cartésiens pouvaient encore trouver des arguments

(1) Le changement de sens ne pouvait provenir que d'une réflexion, à la suite d'un choc du corps contre la paroi du vase.

(2) *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1716, p. 89.

(3) *Op. cit.*, p. 90.

plus directs en faveur des tourbillons dans un ouvrage, qui, bien que publié en Italie, avait acquis bien vite en France une certaine influence ; nous voulons parler du livre de Poleni, paru en 1712 (1).

Dans cet ouvrage, en effet, l'auteur, après avoir exposé brièvement les conceptions de Descartes et de Newton sur la physique céleste et avoir donné la préférence à la première, ne se contentait pas d'en développer les principales thèses, en indiquant les divergences entre cartésiens sur certains points. Particulièrement soucieux de mettre la théorie cartésienne à l'abri des critiques, il se gardait bien de passer celles-ci sous silence, mais tentait au contraire d'y répondre d'une manière aussi satisfaisante que possible.

C'est ainsi qu'il reprenait l'objection proposée par Newton dans la prop. LII du livre II des *Principia*. Les considérations développées par Saurin dans sa dissertation de 1709 lui paraissaient devoir fournir quelques éclaircissements sur ce point, à condition d'en accepter le principe de la distinction entre un fluide parfaitement homogène (supposé dans le calcul de Newton) et le fluide du tourbillon solaire, qui ne serait pas soumis à cette condition d'homogénéité. Mais, si l'idée de cette distinction lui paraissait « digne d'un savant ». elle ne parvenait pas cependant à emporter sa conviction. Jugeant que l'expérience pouvait et devait venir ici au secours du calcul, il rappelait que, dans le récipient de la machine pneumatique, tous les corps tombaient avec une égale vitesse; ce qui laissait supposer que, la résistance disparaissant avec l'air, les particules du fluide tourbillonnaire « avaient à peine quelque cohérence et constituaient un corps quasi-parfaitement fluide et doué d'une résistance tout à fait insignifiante. » (2) En effet, ce qui restait dans la machine pneumatique, après élimination de l'air, ne lui paraissait être autre chose que l'éther, le fluide

(1) *Dialogus de vorticibus cœlestibus*, 1 vol. in-4°. Padoue.
(2) *Op. cit.*, p. 122.

même qui composait le tourbillon solaire, et qui emportait les planètes dans son mouvement. Car personne ne pourrait supposer que ce fût l'air enveloppant la terre qui la fît circuler autour du soleil. « D'où il paraît clairement résulter que, à condition que nous puissions faire une expérience dans l'éther pur, et que nous observions les graves en chute libre, puis que nous apportions une preuve d'une évidence mathématique, l'éther qui emporte les planètes et quasi parfaitement fluide. » (1)

En ce cas, il importait de trouver quelque autre hypothèse permettant de mettre d'accord la loi de Képler avec la proposition de Newton ; mais, si Poleni préférait ainsi reconnaître la difficulté plutôt qu'y apporter une solution illusoire, il ne désespérait pas pour cela de la faire disparaître.

Non seulement, d'ailleurs, il s'agissait, dans l'hypothèse tourbillonnaire, d'expliquer la proportion entre les vitesses des planètes et leurs distances du centre du tourbillon, mais il apparaissait nécessaire d'expliquer aussi la proportion entre les aires et les temps (proportion déterminée, ainsi que la première, par Képler). Bien plus, il fallait se préoccuper encore de mettre en harmonie entre elles ces deux proportions. Poleni rappelait, mais sans pouvoir admettre lui-même ce moyen, comment Villemot pensait tirer la seconde proportion de la première, et il indiquait aussi la théorie leibnizienne, donnant comme principe à toute la physique céleste la seconde proportion. C'était là d'ailleurs une occasion de rappeler les remarques de Grégory sur l'explication leibnizienne.

Mais tout s'expliquait assez bien en admettant un retard des planètes par rapport au fluide qui les emporte; surtout un retard plus grand pour les planètes supérieures que pour les inférieures. C'était revenir à la thèse cartésienne telle qu'elle avait été proposée par Descartes et soutenue par la plupart des cartésiens. Aussi Poleni estimait-il particulièrement important d'établir ce point.

(1) *Op. cit.*, p. 128.

Pour maintenir contre le P. Daniel (1) l'argument tiré, en faveur du retard, de la comparaison avec le mouvement retardé du bateau par rapport au courant qui l'entraîne, Poleni avait imaginé un dispositif permettant de supprimer expérimentalement la résistance de l'air alléguée par le P. Daniel. Ayant donné par adjonction de plomb à une sphère de bois un poids spécifique égal au poids spécifique de l'eau, de façon à la plonger à peu près complètement dans l'eau, il constatait encore un retard de cette sphère par rapport au courant de la rivière (il procédait en colorant l'eau). Et il estimait pouvoir conclure, par analogie, au même retard des planètes par rapport au fluide tourbillonnaire, pensant qu'il avait réalisé autant que possible ainsi les conditions dans lesquelles se trouvaient placées les planètes. « C'est pourquoi, affirmait-il (2), je tiens pour certaine cette proposition que les sphères planétaires ont une vitesse moindre que la vitesse du fluide qui les emporte, et qu'elles achèvent plus lentement leurs propres révolutions. » Il ajoutait d'ailleurs à cette preuve expérimentale trois démonstrations, destinées à confirmer encore cette idée.

Dès lors, il apparaissait assez simple de déterminer quelles devaient être les lois des mouvements de l'éther permettant de rendre compte des phénomènes observés et de ce qu'exigeait la physique céleste. Il suffisait de supposer des retards permettant de retrouver par le calcul les résultats fournis par l'expérience.

Qu'il s'agît ensuite d'expliquer l'inclinaison de l'axe terrestre, le parallélisme des axes des planètes par rapport à eux-mêmes et tous les autres phénomènes de la physique céleste, Poleni ne croyait pas devoir aller chercher hors de l'hypothèse tourbillonnaire les éléments d'une réponse. Il est même intéressant de constater que, presque sur tous les points, il com-

(1) Celui-ci avait en effet contesté ce retard des planètes par rapport au fluide qui les emporte, dans son *Voyage du monde de Descartes*, publié en 1690, avec un supplément en 1696. Nouvelle édition en 1739, 2 vol. in-12.

(2) § 39, p. 38.

mençait par la critique des transformations apportées par Villemot à la thèse cartésienne. Il n'y a guère que sur la théorie des comètes qu'il se séparait à la fois de Descartes et de Villemot, tout en se rapprochant plus de celui-ci par son idée de rejeter ces astres hors du tourbillon solaire.

13. — Cependant, au moment même où l'ouvrage de Poleni apportait aux cartésiens français une nouvelle autorité, la préface placée, en 1713, par Côtes en tête de la seconde édition des *Principia* pouvait fournir aux partisans des théories de Newton une ressource qu'ils devaient bien se garder de négliger.

Après avoir rapidement résumé les points essentiels du newtonianisme (1), il passait en effet en revue quelques-unes des objections les plus courantes et les plus générales opposées à cette doctrine.

D'abord, « on ne cesse de nous objecter, remarquait-il (2), que la gravité est une qualité occulte, et qu'on doit bannir absolument de la philosophie toutes les explications fondées sur de pareilles causes : mais nous pouvons répondre que l'on ne doit pas appeler occultes des qualités dont l'existence est évidemment démontrée par l'expérience, mais celles-là seulement qui n'en ont qu'une imaginaire, et qui ne sont prouvées en aucune manière. Ceux qui ont réellement recours aux qualités occultes sont ceux qui, pour expliquer les mouvements de la nature, ont imaginé des tourbillons d'une matière qu'ils forgent à plaisir, et qui ne tombe sous aucun sens. »

(1) Nous pouvons remarquer toutefois qu'il mettait dans certains passages de son exposé moins de réserve que Newton. « Il faut, disait-il par exemple, que la pesanteur soit une des propriétés primitives de tous les corps, ou que l'on cesse de regarder comme telle leur étendue, leur mobilité, leur impénétrabilité ; il faut que l'on puisse expliquer exactement les phénomènes de la nature par la loi de la pesanteur, ou que l'on renonce à en donner une explication raisonnable en faisant usage de l'étendue, de la mobilité et de l'impénétrabilité des corps. » (Cette citation et les suivantes sont empruntées à la traduction de M[me] du Châtelet, I p. XXIX et XXX).

(2) *Op. cit.*, p. XXX.

Après avoir ainsi retourné l'objection contre les cartésiens, Côtes s'attachait d'ailleurs à trouver le principe d'une réponse, sinon plus solide, au moins plus explicite, dans une distinction entre une cause simple et une qualité occulte. En effet, une qualité ne peut être dite occulte simplement parce que l'on en ignore la cause ; car, en posant un tel critère, on risquerait de ruiner par là tous les fondements de la science. « En effet, toutes les causes sont liées les unes aux autres par une chaîne non interrompue, et se déduisent les unes des autres en allant du plus simple au plus composé. Si vous arrivez une fois à la cause la plus simple, il ne vous sera pas possible de remonter plus haut ; car on ne peut pas donner une explication mécanique de la cause la plus simple ; et si cela se pouvait, dès lors elle cesserait d'être telle. » Rejeter dès lors comme qualité occulte toute cause ainsi primitive et simple, ce serait du même coup ébranler la valeur de toutes les autres causes qui s'y rattachent et s'y subordonnent (1).

Côtes insistait ensuite sur le parti-pris des cartésiens « qui ne rejettent la physique céleste de M. Newton que parce qu'elle est opposée au système de Descartes, et ne paraît pas pouvoir s'accorder avec les principes de ce philosophe » (2). « Nous ne pouvons pas, continuait-il, les empêcher de suivre leur sentiment, mais il faut qu'ils se conduisent de même à notre égard, et qu'ils ne refusent pas aux autres une liberté qu'ils veulent qu'on leur accorde. Qu'il nous soit donc permis d'embrasser la philosophie de Newton, et de nous y attacher, parce qu'elle nous paraît plus véritable ; qu'il nous soit permis de préférer des causes prouvées par les phénomènes à des causes fictives et qui ne sont confirmées par aucune expérience. Une vraie philosophie ne doit employer dans l'explication de la nature que des causes vraiment existantes ; elle ne doit point chercher

(1) Côtes proposait en outre de ne pas confondre les propriétés primitives des corps avec des effets surnaturels ou des causes surnaturelles. La gravité peut être une propriété primitive sans être une sorte de miracle perpétuel.
(2) *Op. cit.*, p. XXXI.

les lois par lesquelles le Tout-puissant aurait pu produire l'ordre admirable qui règne dans cet univers s'il avait jugé à propos de les employer ; mais seulement celles qu'il a réellement établies par un acte libre de sa volonté. En effet, nous pouvons croire raisonnablement qu'un même effet peut être produit par plusieurs causes différentes; mais la vraie cause, pour un philosophe, est celle qui produit actuellement l'effet dont il est question : la bonne philosophie n'en reconnaît point d'autres. »

Ainsi Côtes, après avoir montré que la théorie newtonienne n'était pas un retour à la philosophie des qualités occultes, en arrivait à préciser que, bien loin de là, elle était au contraire beaucoup plus respectueuse des faits et de l'expérience qu'aucune autre, et spécialement que la théorie cartésienne. La défense de Newton se transformait insensiblement en attaque contre Descartes, et Côtes se faisait fort d'opposer à la méthode expérimentale du premier et à son aversion pour les hypothèses, les constructions hasardées de « ces philosophes qui commencent par établir que l'espace immense des cieux est rempli d'une matière extrêmement subtile, et veulent ensuite que cette même matière soit mise dans un mouvement continuel par les tourbillons qu'elle a formés ; car il pourrait arriver qu'ils expliquassent tous les phénomènes par leurs hypothèses, et l'on ne pourrait pas dire pour cela qu'ils nous eussent donné une vraie philosophie, ni qu'ils eussent découvert les vraies causes des mouvements célestes ; à moins qu'ils ne nous aient démontré l'une de ces deux propositions, ou que les causes qu'ils nous donnent existent réellement, ou qu'il n'en pourrait exister d'autres. » (1)

En d'autres termes, la possibilité même des tourbillons ne saurait avoir la valeur d'une preuve de leur existence. Or, cette preuve nécessaire ne devait être cherchée plus longtemps, de l'avis de Côtes, dans une négation de tout autre principe d'ex-

(1) *Op. cit.*, p. XXXI et XXXII.

plication, puisque précisément l'attraction s'offrait pour jouer ce rôle.

Restait donc aux cartésiens la seule ressource de montrer que les tourbillons permettaient d'expliquer d'une manière satisfaisante les phénomènes. Mais Côtes, tournant alors tout son exposé dans le sens de la critique de l'explication tourbillonnaire, se plaisait à en rappeler toutes les difficultés et à insister sur l'inopportunité de « rétablir un édifice misérable et chimérique par des éclaircissements ou des commentaires également inutiles. » (1)

Parmi les objections déjà formulées par Newton contre les tourbillons, Côtes portait surtout son attention sur celles qu'avait pu fournir le mouvement des comètes. Non seulement il était frappé de l'impossibilité d'expliquer, en admettant un seul tourbillon dans une même partie du ciel, les différences de vitesses et de directions manifestées en cette partie par les planètes et les comètes ; mais il ne voyait pas d'avantages appréciables à « dire que ce n'est pas un seul tourbillon qui produit tous ces mouvements, mais plusieurs qui sont différents les uns des autres, et qui occupent le même espace du ciel, qu'ils parcourent dans le même temps avec des vitesses et des directions différentes. »

En effet, « si l'on suppose qu'un même espace contient différents tourbillons, qui se pénètrent mutuellement et font leurs révolutions avec des mouvements différents, comme d'ailleurs tous les mouvements doivent être parfaitement analogues à ceux des corps qu'ils entraînent, lesquels font leurs révolutions avec une régularité surprenante dans des sections coniques tantôt fort excentriques, tantôt presque circulaires ; on peut

(1) *Op. cit.*, p. XXXII. « Si, de plus, on fait attention que ces mouvements imaginaires sont plus composés et plus difficiles à expliquer que les mouvements réels et véritables des planètes et des comètes, on sera bientôt convaincu, ainsi que nous, qu'ils ont été gratuitement introduits dans la philosophie, car toute cause doit être plus simple que son effet.» *(Op. cit.* p. XXXIII)

demander avec raison comment il peut se faire que ces mouvements se conservent en entier sans jamais avoir été troublés depuis tant de siècles par les actions diverses de la matière qu'ils rencontrent sans cesse. » (1) En somme, « le mouvement des comètes devient absolument impossible, si l'on ne bannit de l'univers cette matière subtile qui ne doit son existence qu'à l'imagination, et si on ne la fait rentrer dans le néant dont on l'avait tirée. » (2)

Rien ne servirait de prétendre que la résistance est infime dans la matière tourbillonnaire, car la nécessité d'une même densité pour la planète et les parties du tourbillon qui l'environnent, exigée pour l'équilibre de l'univers, ne saurait laisser place à un tel postulat. Bien plus, en tenant compte des densités proportionnelles des différentes couches, il faut admettre que « toute la partie du tourbillon qui se trouve au dehors de l'orbe de la terre, par rapport au soleil, aura une densité et par conséquent une force d'inertie proportionnée à la quantité de matière, laquelle densité sera au moins égale à la densité et à l'inertie de notre terre ; d'où il suit que les comètes éprouveront une résistance considérable et très sensible dans leur mouvement, pour ne pas dire capable de le détruire absolument, comme cela est plus que probable. Il est néanmoins certain, par la régularité des mouvements de ces mêmes comètes, qu'elles n'éprouvent pas la moindre résistance sensible, et par conséquent qu'elles ne trouvent nulle part aucune matière qui puisse leur résister, ou ce qui revient au même, qui ait quelque densité ou quelque force d'inertie. » (3)

Comment ne pas remarquer d'ailleurs que « ceux qui veulent que l'univers soit rempli de matière, et en même temps soutiennent que cette matière n'a point de force d'inertie, établis-

(1) *Op. cit.*, p. XXXII-XXXIII.
(2) *Op. cit.*, p. XXXIV.
(3) *Op. cit.*, p. XXXV. On ne saurait espérer non plus trouver dans l'impression du fluide sur les parties postérieures du corps une compensation suffisante de la résistance éprouvée.

sent réellement l'existence du vide dont ils ne suppriment que le nom ; car puisqu'il n'y a aucune manière et aucune raison de distinguer une telle matière du vide, il est évident que ce n'est plus qu'une dispute de mots. » (1)

Après avoir posé en ces termes la question du vide, Côtes se gardait bien de l'éluder et se plaisait au contraire à faire ressortir toutes les conséquences inadmissibles de la doctrine du plein. Il est vrai qu'il ne parvenait à prendre quelque avantage sur ce point, qu'en s'appuyant sur un finalisme, dans lequel la théologie naturelle prenait, pouvait-il sembler même à ses contemporains, une place trop importante pour ne pas donner à cette physique une allure bien métaphysique. Non seulement, en effet, il condamnait la notion de hasard et l'idée d'une matière infinie et éternelle, mais il prétendait que les partisans du plein ne pouvaient échapper à l'affirmation de telles conceptions qu'à la condition d'admettre le plein comme faisant partie d'un plan divin inaccessible à notre raison, puisque la production des phénomènes n'exigerait pas apparemment ce plein. Mais cette impénétrabilité des fins poursuivies par Dieu dans l'organisation de l'univers ne paraissait pas plus satisfaisante à Côtes qu'une détermination purement *a priori* de ces fins, et par conséquent des lois de la nature, plus en accord d'ailleurs au fond avec la méthode cartésienne. « Toute philosophie saine et véritable, pensait Côtes (2), est uniquement appuyée sur les phénomènes. Si les mêmes phénomènes nous conduisent de gré ou de force à des principes dans lesquels on voit briller évidemment l'intelligence et le pouvoir absolu d'un Etre souverainement sage et puissant, ce n'est pas une raison de les rejeter parce qu'ils déplairont à quelques particuliers ; que ce soit pour ces gens-là des miracles ou des qualités occultes, on ne doit point leur imputer les noms que la malice peut leur donner; à moins qu'on ne veuille nous avouer tout simplement

(1) *Op. cit.*, p. XXXVI.
(2) *Op. cit.*, p. XXXVII.

que la philosophie doit être fondée sur l'athéisme ; mais il ne faut pas altérer et corrompre la philosophie pour des hommes de cette espèce ; l'ordre de la nature doit être aussi sacré qu'il est immuable. »

Si ces dernières réflexions plus métaphysiques que physiques n'étaient pas de nature à être directement utilisées par les partisans français des théories newtoniennes, ceux-ci n'en pouvaient pas moins retenir l'argumentation de Côtes en faveur de l'attraction et contre les tourbillons, et ils n'allaient pas tarder à y faire des emprunts et même à en développer encore certains points.

14. — Malgré tout, tandis que le système des tourbillons trouvait quelques moyens de ranimer en quelque sorte sa vigueur, la théorie de Newton était violemment heurtée dans une de ses affirmations essentielles sur la figure de la terre. Certes cette question ne mettait pas directement aux prises le newtonianisme avec le cartésianisme ; mais elle permettait au moins aux partisans de Descartes de trouver, dans ce qu'ils considéraient comme une erreur de Newton, un argument en faveur de leur opposition aux théories de ce savant.

Or, si l'on s'était d'abord trompé sur les conséquences de la diminution des degrés de latitude de l'équateur au pôle, en croyant que cette diminution impliquait pour la terre la forme d'un globe aplati vers les pôles. Cassini apporta, en 1713, une double conclusion : confirmation de l'existence de cette diminution; interprétation de ce fait comme une preuve de l'allongement de la terre dans le sens de son axe. « Ainsi, faisait-il remarquer (1), si l'on suppose les observations de M. Picard et les nôtres exactes dans toutes leurs circonstances, il résulte que les degrés qui sont vers le septentrion sont plus petits que ceux qui sont vers le midi, et que par conséquent la figure

(1) *De la figure de la terre*, in *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1713, p. 255.

d'un méridien de la terre doit être telle que les degrés augmentent, plus on s'approche de l'équateur, et diminuent au contraire en allant vers les pôles ; ce qui est la propriété d'une ellipse, dont le grand diamètre représente l'axe de la terre, et le petit diamètre celui de l'équateur. »

On ne pouvait contredire plus directement l'opinion de Newton sur l'aplatissement de la terre aux pôles ; et, comme cette thèse avait pour elle la possibilité de rendre compte des expériences de Richer à Cayenne sur le pendule (1), Fontenelle, qui sentait bien l'infériorité de la conclusion de Cassini à ce point de vue, se hâtait d'ajouter que « les raisonnements tirés de la différente longueur du pendule en différents climats, ou de l'inégalité de la force centrifuge qui résulte du mouvement journalier de la terre sont peut-être un peu trop subtils pour produire une certaine conviction ; on peut même n'être pas encore assez sûr des principes et les conséquences peuvent quelquefois être différentes. Ainsi il paraît qu'il vaut mieux n'employer dans cette recherche, comme fait M. Cassini, que des observations incontestables, et qui aillent directement à décider la question. » (2)

Aussi, quand la continuation de ces mesures de Cassini l'eut amené, en 1718 (3), à une confirmation de son opinion de 1713, les adversaires de Newton éprouvèrent-ils une évidente satisfaction à trouver encore ce savant en défaut sur cette question.

15. — D'ailleurs tout, à cette époque, était prétexte à poser l'antagonisme des deux tendances, et les cartésiens en particulier étaient à l'affût de toutes les innovations, toujours prêts à y déceler jusqu'aux moindres traces de newtonia-

(1) Sur l'ensemble de la question de la figure de la terre, voir notre ouvrage sur *Maupertuis*, 2 vol. in-8. Paris. Blanchard, 1929.

(2) *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1713, p. 84.

(3) *De la grandeur de la terre et de sa figure*, in *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1718, p. 310.

nisme. Les choses en étaient à un point tel, que, lorsque Geoffroy donna, en 1718, une table des affinités des différentes substances chimiques, on crut reconnaître dans ce travail une certaine inspiration newtonienne. Fontenelle se contenta de remarquer en plaisantant que « c'est ici que les sympathies et les attractions viendraient bien à propos, si elles étaient quelque chose. » (1) Mais il n'en attribua pas moins une réelle valeur à ce travail, dont l'auteur, à son avis, n'avait pas eu en vue quelque autre but que la coordination d'une série de faits remarquables et n'avait pas abandonné le terrain de l'expérience pour le domaine des hypothèses. Le résultat obtenu par Geoffroy lui paraissait même d'autant plus intéressant qu' « une table chimique est par elle-même un spectacle agréable à l'esprit, comme serait une table de nombres ordonnés suivant certains rapports ou certaines propriétés. »

Cependant tous ne virent pas les choses de la même manière, et « ces affinités firent de la peine à quelques uns, qui craignirent que ce ne fussent des attractions déguisées, d'autant plus dangereuses que d'habiles gens ont déjà su leur donner des formes séduisantes : mais enfin on reconnut qu'on pouvait passer par-dessus ce scrupule et admettre la table de M. Geoffroy. » (2)

Autant qu'ils se montraient vigilants à l'égard des sourdes infiltrations newtoniennes, les cartésiens s'attachaient encore à ne perdre aucune occasion de glisser eux-mêmes quelques remarques sur la valeur du cartésianisme. C'est ainsi qu'en faisant l'*Eloge de Malebranche*, en 1715, Fontenelle avait réussi déjà à marquer une fois de plus la fécondité des vues de Descartes sur le système général de l'Univers. En effet, celui de Malebranche « c'est celui de Descartes réformé et cependant fort différent. Il roule sur une idée qui a été très familière à ce grand inventeur, et qu'il n'a pas poussée aussi

(1) *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1718, p. 46.
(2) *Eloge de Geoffroy*, in *Histoire de l'Académie des Sciences*. 1731, p. 138.

loin qu'il aurait dû. Elle seule, selon le P. Malebranche, rend raison de tout ce qu'il y a de plus général et de plus inconnu dans la physique, de la dureté des corps, de leur ressort, de leur pesanteur, de la lumière, de sa propagation instantanée, de ses réflexions et réfractions, de la génération du feu et des couleurs. Il faut bien que cette idée soit une supposition, mais à peine en est-elle une, car elle est copiée d'après une chose incontestable chez les cartésiens et que les autres philosophes ne peuvent contester sans tomber dans d'étranges pensées. En un mot, comme l'univers cartésien est composé d'une infinité de tourbillons presque immenses, dont les étoiles fixes sont les centres, qu'ils ne se détruisent point les uns les autres pour en faire un total, mais ajustent leurs mouvements de manière à pouvoir tourner tous ensemble, et chacun du sens qui convient au tout, que par leurs forces centrifuges ils se compriment sans cesse les uns les autres, mais se compriment également, et se conservent dans l'équilibre où ils se sont mis ; de même le P. Malebranche imagine que toute la matière subtile répandue dans un tourbillon particulier, dans le nôtre par exemple, est divisée en une infinité de tourbillons presque infiniment petits, dont la vitesse est fort grande, et par conséquent la force centrifuge presque infinie puisqu'elle est le carré de la vitesse divisé par le diamètre du cercle. Voilà un grand fonds de force pour tous les besoins de la physique » (1) et pour ainsi dire, d'après les vues de Malebranche lui-même, « la clef de toute la physique ». Or, une hypothèse ayant, plus qu'une autre, apparence de vérité, dès qu'elle se prête intellectuellement à des applications plus nombreuses, les tourbillons ne devaient-ils pas trouver dans cette variété d'applications une force nouvelle de conviction ? « C'est un grand préjugé en leur faveur, insistait Fontenelle (2), que de pouvoir être mis à tant d'usages. »

(1) *Eloge de Malebranche* in *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1715, p. 142.

(2) *Op. cit.*, p. 144.

La mort de Remond de Montmort lui donna, en 1719, l'occasion de poursuivre, en faisant à l'Académie l'éloge du défunt, son opposition à Newton. En effet, après avoir rappelé que la Société Royale de Londres avait reçu de Montmort en 1715, il ajouta : « A quelque point que cet honneur le flattât, il ne le séduisit pourtant pas en faveur des attractions, abolies, à ce qu'on croyait, par le cartésianisme, et ressuscitées par les Anglais, qui cependant se cachent quelquefois de l'amour qu'ils leur portent. M. de Montmort eut de grandes querelles sur ce sujet avec M. Taylor, son ami particulier, et lui composa même avec soin une assez longue dissertation par laquelle il renvoyait les attractions dans le néant, d'où elles tâchaient de sortir. M. Taylor y répondit peu de temps après. Il est certain que, si l'on veut entendre ce qu'on dit, il n'y a que des impulsions, et, si on ne se soucie pas de l'entendre, il y a des attractions, et tout ce qu'on voudra, mais alors la nature nous est si incompréhensible, qu'il est peut-être plus sage de la laisser là pour ce qu'elle est. » (1)

16. — Peut-être y a-t-il quelque intérêt à terminer sur cette critique acerbe l'exposé de cette résistance cartésienne aux premières influences des théories newtoniennes. Si cette violence dans l'attaque peut, à première vue, faire concevoir que l'ère des difficultés ne faisait que s'ouvrir pour le newtonianisme, nous proposons au contraire d'y voir la marque la plus certaine de la pénétration lente mais sûre de ce système. Comme nous l'avons déjà fait remarquer plusieurs fois au cours de ce chapitre, il est possible de suivre, derrière l'opposition des cartésiens, la progression même de l'influence de Newton. Une thèse que l'on s'estime obligé de combattre est une thèse avec laquelle il faut certainement compter.

Cette réflexion est une réponse implicite à l'objection que certains pourraient être tentés de nous faire, en considérant que ce chapitre n'examine que d'assez loin, ou tout au moins

(1) *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1719, p. 113.

très indirectement, l'introduction des théories newtoniennes en France. Nous estimons, au contraire, qu'indépendamment de sa nécessité pour l'intelligence des débats que nous aurons à examiner dans les chapitres suivants, il est bien, de divers points de vue encore, tout à fait important dans la restitution intégrale de ce mouvement d'idées scientifiques que nous nous proposons d'obtenir.

Non seulement nous avons ainsi posé d'une façon vraiment historique le problème, en nous efforçant de reconstituer, dans ses grandes lignes au moins, l'ambiance (1) dans laquelle il a pour ainsi dire pris naissance et s'est d'abord développé ; mais nous avons cherché à retrouver derrière les apparences la véritable physionomie de l'époque sur ce point. Et, de cette tentative, une triple conclusion se dégage.

D'une part, si les newtoniens ne se sentaient pas encore assez sûrs pour engager directement un débat de grande envergure, les cartésiens se trouvaient en quelque sorte harcelés par eux ; et, si les objections n'étaient parfois posées que d'une manière plus ou moins implicite, ceux auxquels elles s'adressaient ne s'en sentaient pas moins suffisamment inquiétés, pour qu'ils dussent songer à y chercher une solution, sinon les résoudre ; preuve, comme nous venons de le dire, qu'ils sentaient le cartésianisme effectivement menacé par le courant d'infiltration newtonienne.

Bien plus, cette résistance même contribuait indirectement à fortifier le courant contre lequel elle s'élevait pour essayer de l'arrêter. Pour invraisemblable que la chose puisse sembler, elle apparaît telle cependant à qui considère les conséquences les plus claires de cette résistance. N'était-elle pas, plus que toute autre attitude, plus à coup sûr qu'une indifférence feinte ou réelle, de nature à faire apparaître l'infériorité des expli-

(1) Sur l'importance de la considération de l'ambiance dans l'histoire des sciences, voir notre ouvrage sur *Les physiciens hollandais et la méthode expérimentale en France au* XVIIIe *siècle*. (Paris Blanchard, 1926). Introduction : Les sciences et la pensée scientifique.

cations cartésiennes ? L'obligation, sur laquelle nous avons déjà insisté, dans laquelle se trouvaient les cartésiens de compliquer constamment, par des adjonctions ou des transformations d'hypothèses, le système même de leur maître, était déjà un indice de cette infériorité. Et, comme d'ailleurs leurs réponses aux objections étaient loin d'être toujours convaincantes, en admettant qu'elles le fussent ou le parussent quelquefois grâce à leur ingéniosité souvent réelle, ces sortes d'aveux implicites d'impuissance créaient autour du système, par leur accumulation même, une atmosphère de défiance, dont ne pouvait que bénéficier le newtonianisme. En d'autres termes, plus les cartésiens se débattaient, plus leurs réponses fragmentaires, en s'écroulant, enlevaient au système entier de sa solidité imposante, et plus apparaissait manifeste son insuffisance. Tant que tous les moyens de résistance n'avaient pas été tentés, on ne pouvait pas préjuger de ce qu'ils pourraient donner ; à mesure qu'ils étaient vainement essayés, ils laissaient, en disparaissant, à la cause qu'ils devaient soutenir l'allure plus nette d'une tentative désespérée. Comme leur nombre ne pouvait être illimité, chaque nouveau fléchissement de l'un d'entre eux était en somme comme une préparation nouvelle du succès de la thèse adverse.

Les cartésiens d'ailleurs ne s'y trompaient pas, et, si le dépit qu'ils en pouvaient ressentir se traduisait parfois par des critiques plus acerbes à l'égard des disciples de Newton, ils ne pouvaient cependant résister tout à fait à l'attirance qu'exerçaient sur eux la commodité et la simplicité des explications du maître. De là ces sortes de tiraillements, qui donnaient parfois à leurs discussions une attitude hésitante, tout à fait favorable à la pénétration plus profonde de cette influence newtonienne contre laquelle ils se défendaient eux-mêmes si mal, souvent même comme à regret et presque par esprit de traditionalisme. De là à chercher des conciliations et des compromis entre les deux thèses, il n'y avait, pour ainsi dire, qu'un pas, qui ne devait pas tarder à être franchi.

CHAPITRE II

Les préliminaires du débat

(1720-1728)

17. — Au cours des années précédentes, les ouvrages auxquels on pouvait se référer pour l'examen ou l'explication des thèses newtoniennes étaient surtout, à côté des *Principes* mêmes et de l'*Optique* de Newton, les ouvrages de Grégory (1) et de Keill (2). Or celui-ci, en publiant, en 1718, son *Introductio ad veram astronomiam*, venait d'apporter un appoint considérable à la diffusion du newtonianisme. La préface faisait à l'éloge de Newton une place importante : « A notre époque et dans notre Grande-Bretagne, s'est élevé un homme tout à fait génial, Isaac Newton, qui, outre d'innombrables autres découvertes, a trouvé l'origine et la source des mouvements célestes, et a saisi cette loi universelle que le créateur tout puissant et très sage a répandu dans tout le système de l'Univers. A savoir que tous les corps s'attirent réciproquement en raison inverse du carré de leurs distances.

« Cette loi, sorte de lien de la Nature et principe de cette union qui conserve l'Univers, retient dans leurs propres orbites et dans les limites assignées aussi bien les comètes que les planètes, et empêche qu'elles ne s'écartent plus les unes des autres et n'abandonnent leurs cours dans les espaces infinis; comme il arriverait, si les corps n'étaient mus que par une force résidant en eux.

« Grâce aux enseignements du même savant, nous avons appris à connaître la loi, qui régit et règle les mouvements célestes, marque les limites de l'orbite des planètes, détermine

(1) *Astronomiae physicae et geometricae elementa*. 1 vol in-fol. Oxford, 1702.

(2) *Introductio ad veram physicam*. 1 vol. in-4°. Oxford, 1700.

leur aphélie et leur périhélie. C'est à cet homme incomparable que nous devons de connaître d'où vient qu'une proportion aussi constante et régulière est toujours observée entre les révolutions des planètes et leurs distances du soleil, et pourquoi les mouvements célestes se distribuent et se conservent toujours dans une si belle et si admirable harmonie. Après avoir examiné attentivement et exactement apprécié les lois des mouvements, Newton édifia en partant d'elles une nouvelle théorie de la lune, qui répond avec une exactitude suffisante à toutes ses inégalités ; alors que personne auparavant n'aurait pu espérer une telle théorie ; en partant de cette théorie en effet on a calculé le lieu de la lune avec une approximation aussi rigoureuse que possible ; si bien que les navigateurs peuvent concevoir l'espoir nouveau de découvrir en mer la longitude du lieu où se trouve le navire, ce qui est le problème dont ils ont le plus besoin.

« Il n'y a rien qui manifeste plus la force et la profondeur de l'esprit humain que ces grandes et admirables découvertes. » (1)

Aussi tout l'ouvrage ne faisait-il qu'emprunter l'essentiel de ces explications newtoniennes, en leur donnant par là même une nouvelle force d'expansion, et en fournissant aux partisans français de la doctrine, sinon des arguments plus convaincants, au moins des références plus nombreuses, parfois aussi des détails de calculs plus abondants ou des démonstrations moins concises. D'ailleurs, indépendamment de cette aide apportée plus ou moins directement aux savants newtoniens, l'ouvrage ne pouvait manquer de susciter autour des découvertes astronomiques de Newton un intérêt croissant et de maintenir en éveil le courant d'études et de recherches sur ce point.

(1) Nous avons fait cette traduction sur l'édition des œuvres de Keill donnée par 'sGravesande : *Introductiones ad veram physicam et veram astronomiam*, 1 vol. in-4°, Leyde, 1725, p. 217.

18. — Au moment où cette influence commençait à se faire sentir, la traduction française de l'*Optique* de Newton, donnée par Coste, en 1720, contribua largement à diriger l'attention dans le même sens (1).

D'ailleurs l'esprit même dans lequel était entreprise cette traduction ne laissait aucun doute sur l'admiration de l'auteur pour Newton. Faisant allusion, dans sa préface, aux explications des physiciens antérieurs : « Quand ils ont voulu raisonner sur la nature de la lumière, précisait-il (2), et nous apprendre ce que c'est que les couleurs qui en émanent, et ce qui les distingue les unes des autres, ils ne nous ont donné que de pures suppositions, qui ne nous enseigneraient rien de précis si elles étaient véritables, et dont on ne saurait démontrer la vérité par aucune expérience physique.

« Enfin M. le chevalier Newton, uniquement appliqué à consulter la Nature, l'a comme forcée à lui découvrir son secret. Il a trouvé, par des expériences sensibles et variées en différentes manières, que la lumière est un composé de rayons de différentes couleurs ; que ces rayons une fois séparés et observés à part conservent constamment leur couleur originaire, sans qu'aucune réfraction ou réflexion, ou mélange d'ombres puisse l'altérer ; que les rayons de chaque couleur particulière ont leur degré particulier de réfrangibilité; que les rayons de lumière qui diffèrent en couleur, diffèrent constamment en degrés de réfrangibilité; et que c'est de cette différence de réfrangibilité que dépend la différence de leurs couleurs, d'où il s'ensuit que toutes les couleurs qui existent dans la Nature sont, en effet, telles que les doivent produire les qualités colorifiques et originales des rayons dont est com-

(1) Cette traduction rencontra une faveur telle qu'elle fut suivie, deux ans seulement après, d'une nouvelle édition. Cette deuxième édition parut à Paris, 1 vol. in-4°, alors que celle de 1720 est d'Amsterdam, 2 vol. in-12. Avant cette traduction, c'était la traduction latine de S. Clarke qui était, en France, d'usage courant.

(2) *Op. cit.*, Préface, p. VI.

posée la lumière; et que si la lumière ne consistait qu'en rayons également réfrangibles, il n'y aurait qu'une seule couleur dans le monde et qu'il serait impossible d'en produire aucune nouvelle ni par réflexion, ni par réfraction.

« La réfrangibilité de chaque espèce différente de rayons étant déterminée, comme M. le chevalier Newton a trouvé moyen de le faire par des expériences incontestables, il est aisé d'expliquer mathématiquement toute sorte de phénomènes concernant les couleurs qui peuvent être produits par la réfraction ; et dès là la science des couleurs devient une spéculation tout aussi capable d'être mathématiquement démontrée, qu'aucune autre partie de l'optique. »

Ce n'était pas seulement sur la nouveauté des expériences (1) et des explications de Newton sur la lumière qu insistait Coste dans sa Préface. Il se préoccupait en outre de mettre en valeur l'ensemble de la théorie newtonienne, en se référant pour cela aux questions qui servent de conclusion à l'*Optique*. « On y trouvera ce que l'auteur pense sur les matières les plus importantes de la physique. Ce sont des fruits d'une philosophie qui n'a besoin que d'être étudiée et entendue pour être admirée, et qui, par l'examen des principaux phénomènes de la Nature, nous conduit nécessairement à Dieu, l'auteur et le conservateur de toutes choses. Quoique M. le chevalier Newton propose ses pensées en forme de questions, des yeux pénétrants ne laisseront pas de voir les fondements solides qui les étayent. » (2)

(1) Coste, particulièrement véhément à en soutenir l'exactitude, croyait pouvoir ajouter, sur un ton qui ne manque pas d'être un peu acerbe : « S'il se trouve après cela (il faisait allusion aux expériences de Desaguliers, du chevalier de Louville et du P. Sébastien, suscitées par la critique de Mariotte), des personnes qui, faute de savoir faire exactement ces expériences, s'avisent de rejeter les conséquences qui en découlent nécessairement, ils devraient ne pas se hâter de publier des objections contre une doctrine appuyée sur des expériences qu'ils pourraient soupçonner véritables, quoiqu'ils n'aient pas encore trouvé l'art de s'en assurer par eux-mêmes. » (p. XII.)

(2) *Op. cit.*, p. XII et XIII.

Enfin Coste s'attachait à réfuter l'objection générale déjà si souvent formulée contre l'attraction par ceux qui reprochaient à Newton de ressusciter la doctrine des qualités occultes. La réponse était faite par Newton lui-même. « Je ne considère pas ces principes comme des qualités occultes, qui soient supposées résulter de la forme spécifique des choses, mais comme des lois générales de la Nature par laquelle les choses mêmes se sont formées ; la vérité de ces lois se montrant à nous par les phénomènes, quoiqu'on n'en ait pas encore découvert les causes. Car ces qualités sont manifestes ; et il n'y a que leurs causes qui soient occultes. Les Aristotéliciens n'ont pas donné le nom de *qualités occultes* à des qualités manifestes, mais à des qualités qu'ils supposaient cachées dans les corps, et être causes inconnues d'effets manifestes, telles que seraient les causes de la pesanteur, des attractions magnétiques et électriques, et des fermentations, si nous supposions que ces forces ou actions procédassent de qualités qui nous fussent inconnues, et qui ne pussent jamais être découvertes. Ces sortes de qualités occultes arrêtent le progrès de la philosophie naturelle, et c'est pour cela qu'elles ont été rejetées dans ces derniers temps. Nous dire que chaque espèce de choses est douée d'une qualité occulte spécifique par laquelle elle agit et produit des effets sensibles, c'est ne nous rien dire du tout; mais déduire des phénomènes de la Nature deux ou trois principes généraux de mouvement, et nous expliquer ensuite comment les propriétés et les actions de toutes les choses corporelles découlent de ces principes manifestes, ce serait faire un progrès très considérable dans la Philosophie, quoique les causes de ces principes ne fussent point encore découvertes. » (1) En renvoyant spécialement à ce passage, Coste ne manquait pas d'en souligner l'importance ; non seulement pour qu'il ne risquât pas de passer inaperçu pour quelques lecteurs (ce qui n'était guère à craindre en raison de

(1) Traduction Coste, p. 574-576.

l'ambiance et des préoccupations de l'époque), mais encore et surtout parce que cela lui donnait une occasion de reprendre ainsi pour son propre compte cette réponse à laquelle il donnait lui-même pour conclusion « que ce principe (l'attraction) n'est rien moins que ce qu'on a nommé *qualité occulte* dans les Ecoles. Il en est, ce me semble, de l'attraction, prise dans le sens de M. le chevalier Newton, comme de l'élasticité de l'air, dont on examine les effets, sans en connaître ou rechercher la cause. » (1)

D'ailleurs, indépendamment des remarques personnelles du traducteur, l'ouvrage lui-même, en devenant plus largement accessible, ou tout au moins plus abondamment répandu, ne pouvait manquer de susciter et de retenir plus vivement encore l'intérêt.

19 . — Aussi n'est-il pas étonnant que ce soit précisément à cette date que « les ingénieuses expériences de Newton » sur la lumière, « applaudies de tous les savants », au dire de Fontenelle, aient inspiré à Dortous de Mairan l'idée d'en étendre les conclusions, par analogie, du domaine de l'optique à celui de l'acoustique (2).

En ce qui concerne les couleurs dont se compose la lumière, « Newton a observé que les espaces qu'elles occupent sur le papier ne sont pas égaux, mais dans la même raison que les nombres qui expriment les intervalles des sept tons de musique, convenance merveilleuse et cependant très vraisemblable ; il est naturel que les différentes modifications de la vue et de l'ouïe se répondent. M. de Mairan a conjecturé que cette convenance pouvait encore aller plus loin. Le fluide où se répand la lumière, et qui en est le véhicule pour le porter à

(1) Préface, p. XIII.

(2) Dortous de Mairan avait déjà précédemment fait un exposé de la théorie de Newton sur la lumière dans un ouvrage couronné en 1715 par l'Académie de Bordeaux : *Dissertation sur la cause de la lumière des phosphores et des noctiluques*.

nos yeux, est différent de celui qui est le véhicule du son : celui-ci est l'air proprement dit, et l'autre une matière éthérée incomparablement plus subtile. Ce qui doit causer, dans le système de M. Newton, les différentes couleurs et leur différent degré de *réfrangibilité* ce sont des particules, ou si l'on veut, des globules de cet éther, qui, à cause de leur différente consistance ou de leur différente grosseur, se meuvent ou frémissent différemment, et avec des vitesses inégales. De même il y aura dans l'air des particules d'un ressort différent, qui par conséquent feront, en plus ou moins de temps, un même nombre de vibrations. Chacune ne sera donc à l'unisson, qu'avec les corps sonores qui feront leurs vibrations dans le même temps qu'elle et ne frémira que quand elle sera ébranlée par eux. Il y aura dans l'air des particules pour chaque ton, comme il y en a dans l'éther pour chaque couleur, et il ne sera plus étonnant que l'éther transmette en même temps sans confusion, différentes couleur, ni l'air, différents tons. » (1)

D'autre part, l'idée même de l'attraction, pour n'être que timidement présentée et sans être nommée, n'en fournissait pas moins le fond des explications et des calculs que présenta, en 1720, à l'Académie, le chevalier de Louville, dans un mémoire sur la *Construction et théorie des tables du soleil.* « Les planètes, y dit-il (2), ayant reçu, dès le temps de la création de l'univers, une impulsion, qui, si elle agissait seule, leur ferait décrire des lignes droites, se trouvant compliquée avec une force qui les rapproche continuellement du soleil à mesure qu'elles s'en éloigneraient en suivant la ligne droite, les oblige de circuler dans la circonférence d'une ellipse ou ovale : or, il ne faut, pour produire cet effet, qu'une force

(1) FONTENELLE, *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1720, p. 14-15.

(2) *Mémoires de l'Académie des Sciences* 1720, p. 222. Le chevalier de Louville, qui avait fait en 1715 le voyage de Londres pour y voir l'éclipse totale de soleil, s'était trouvé en relations avec les astronomes anglais disciples de Newton.

semblable à la pesanteur, qui soit plus petite à une plus grande distance du soleil, et plus grande à une plus petite, dans la raison réciproque des carrés des distances. »

Puis, pour montrer les avantages d'une telle explication, l'auteur ajoutait plus loin avec satisfaction : « Voilà donc l'astronomie rendue bien simple et délivrée de tous les embarras qu'y avaient mis les anciens astronomes ; plus de déférents, pas même de fluides, qui voiturent les planètes, plus d'épicycles, ni aucun de tous ces fatras qui n'avaient d'existence que dans l'imagination des anciens. »

20. — Cependant Dortous de Mairan lui-même, que nous venons de voir s'inspirer de Newton, ne craignit pas d'entreprendre en même temps de montrer l'erreur de celui-ci concernant la figure de la terre. Nous avons vu comment les résultats des mesures faites en France par Cassini et terminées en 1718 (1), en inclinant les savants à considérer la terre comme un sphéroïde allongé, avaient cependant laissé subsister, et même fait apparaître une difficulté très grande concernant l'interprétation des expériences de Richer à Cayenne. C'est précisément cette difficulté que s'efforça de faire disparaître Dortous de Mairan par ses *Recherches géométriques sur la diminution des degrés terrestres en allant de l'équateur vers les pôles, où l'on examine les conséquences qui en résultent tant à l'égard de la figure de la terre que de la pesanteur des corps et de l'accourcissement du pendule* (2).

Estimant qu'on ne pouvait pas plus douter des mesures de Cassini que des expériences sur le pendule à l'équateur (3),

(1) L'ouvrage de Cassini sur *La Grandeur et la Figure de la Terre*, destiné à servir de supplément aux *Mémoires de l'Académie des Sciences* pour 1718, ne parut cependant qu'en 1722, avec la date de 1720.

(2) *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1720, II, p. 33 à 95.

(3) Dans une note de son mémoire (p. 56), il écartait les objections de Picard et de De La Hire, tirées de la dilatation possible par la chaleur, et il ajoutait : « On a pris encore occasion de douter de l'accourcissement du

il essaya de maintenir ensemble les deux conclusions en prouvant « que les conséquences qu'on a cru opposées ne vont qu'à établir un même système qui est celui du sphéroïde oblong. » (1)

Sans contester le raisonnement de Huygens, il s'attaqua au principe même de ce raisonnement. Certes, en vertu de la pesanteur et des forces centrifuges, la terre a dû prendre la forme d'un sphéroïde aplati, si elle est partie de la forme sphérique ; mais là est précisément le postulat dont la nécessité ne s'impose pas. « Pourquoi, dit-il (2), ne pourrions-nous supposer primitivement pour la formation de la terre qu'une masse fluide sphérique et des directions de pesanteur concourantes au centre de cette masse ? J'avoue qu'il est naturel de commencer par imaginer et la figure et les mouvements des corps qui composent l'Univers comme les plus réguliers qu'il soit possible ; de penser, par exemple, que la terre a dû être d'abord parfaitement sphérique, plutôt qu'un sphéroïde allongé ou aplati vers les pôles, et que les directions de la pesanteur qui a assemblé ses parties devaient plutôt concourir à son centre que tendre vers un autre point, vers une ligne ou vers un plan, de quelque étendue autour de son centre. Et il est même vrai, en général, qu'on ne doit point quitter le simple et le régulier pour aller au composé et à l'irrégulier, sans une raison suffisante. Mais, si les observations immédiates et les plus exactes que nous ayons sur cette matière s'accordent à donner à la terre une figure incompatible avec cette sphéricité primitive et avec les directions de la pesanteur

pendule sur ce que M. Picard, dans son *Voyage à Uranibourg*, page 12, art. 6, dit qu'il n'aperçut aucune différence entre la longueur du pendule de Paris et celle d'Uranibourg. Mais il n'est pas extraordinaire que cette différence n'ait pas été aperçue, étant presque insensible, et ne consistant tout au plus, selon la table des longueurs du pendule donnée par M. Newton, qu'en 11/50ᵉ de ligne. »

(1) FONTENELLE, *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1720, p. 88.

(2) *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1720, II, p. 59-60.

concourantes au centre, qu'est-ce qui nous empêchera d'attribuer primitivement à la terre une figure et des directions de pesanteur plus convenables aux observations ?

« Ainsi il n'est question que de chercher par des observations immédiates quelle est véritablement aujourd'hui la figure de la terre. De sa figure actuelle on pourra conclure sa figure primitive et, de cette figure, les directions primitives de la pesanteur, que nous ne saurions connaître sans cela que changées et, pour ainsi dire, déguisées par la force centrifuge. »

En d'autres termes, au lieu de chercher à conclure la forme actuelle de la sphéricité primitive postulée, Dortous de Mairan prétendait partir des observations actuelles pour établir l'état primitif. Il y avait, au fond de cette méthode, un renversement de la marche suivie pour la solution du problème, une sorte d'interversion des termes, tendant à donner aux observations et aux mesures la prépondérance sur les raisonnements supposant des postulats.

Pour obtenir le sphéroïde allongé actuellement constaté, il suffisait de donner comme forme primitive à la terre celle d'un sphéroïde plus oblong qu'il ne l'était actuellement, et où le lieu de tendance de la pesanteur occupait une plus grande portion de l'axe.

Mais considérer la terre comme un sphéroïde oblong, n'était-ce pas se refuser à comprendre, indépendamment de toute hypothèse sur les origines, le raccourcissement du pendule à l'équateur ? Au contraire, par une série de démonstration, de Mairan tendait à établir que « la force centrifuge augmente davantage, en allant des pôles vers l'équateur, sur le sphéroïde oblong que sur la sphère parfaite ; et par conséquent la pesanteur diminue davantage, et il faut accourcir davantage le pendule sous l'équateur, dans l'hypothèse du sphéroïde oblong que dans celle de la sphère parfaite. » (1) Et inversement « la force centrifuge augmente moins en allant

(1) *Op. cit.*, p. 45.

des pôles vers l'équateur sur le sphéroïde aplati que sur la sphère parfaite ; et par conséquent la pesanteur diminue moins et il faut moins raccourcir le pendule sous l'équateur selon l'hypothèse du sphéroïde aplati que selon celle de la sphère parfaite. » (1)

Après avoir développé encore quelques considérations sur la variabilité de la pesanteur, de Mairan concluait avec satisfaction que de toutes ses démonstrations « il suit que la pesanteur des corps et les longueurs du pendule iront en diminuant des pôles vers l'équateur sur le sphéroïde oblong et au contraire en augmentant sur le sphéroïde aplati. » (2)

Conclusion assez inattendue certes et presque paradoxale, mais qui, aussi invraisemblable que cela paraissait, établissait par le calcul, que, bien loin de rendre inintelligibles le raccourcissement du pendule et la diminution de la pesanteur à l'équateur, l'hypothèse de l'allongement de la terre suivant son axe, conforme d'ailleurs aux mesures géodésiques, était la seule à pouvoir rendre compte de ces phénomènes également bien établis.

21. — Tandis que, dans l'Académie des sciences, ce mémoire de Dortous de Mairan cherchait à faire échec à la thèse de Newton sur la figure de la terre, l'Académie de Bordeaux, qui avait mis au concours pour 1720 la question de la pesanteur, couronna, cette année-là, l'ouvrage de Bouillet (3), qui se ralliait à la théorie cartésienne. « La pesanteur, affirmait l'auteur dès la première page de sa *Dissertation*, n'étant autre chose que le mouvement des corps vers le centre de leur *tourbillon*, ou l'effort que les corps font, lorsqu'ils sont retenus, pour se mouvoir vers ce centre ; il est clair qu'elle ne saurait reconnaître d'autre cause que l'*impulsion* ou le choc

(1) *Op. cit.*, p. 51-52.
(2) *Op. cit.*, p. 92.
(3) *Dissertation sur la cause de la pesanteur*. 1 vol. in-12, Bordeaux, 1720.

de quelque autre corps. Car on convient aujourd'hui qu'un corps ne se meut, ou ne fait effort pour se mouvoir, que lorsqu'il est poussé ou choqué par un autre corps. Mais quels sont les corps qui poussent ceux que nous appelons pesants et qui les obligent à tendre vers le centre de leur tourbillon ? Il est aisé de juger que ce ne saurait être que des corps insensibles et extrêmement agités, puisqu'on ne les aperçoit point, et qu'ils ne sauraient communiquer du mouvement s'ils n'en avaient eux-mêmes. »

Bien plus, l'ensemble de ces remarques « doit s'entendre non seulement de tous les corps que nous apercevons sur la terre, mais de la terre même et des autres planètes, tant principales que secondaires ou subalternes : car elles sont toutes des corps pesants, ou des corps qui font effort à raison de leur masse pour se mouvoir ou s'approcher ; savoir les planètes secondaires, du centre de la planète principale dans le tourbillon de laquelle elles nagent, et les principales, du centre du grand tourbillon, qui est le soleil. Ainsi il faut que la cause de la pesanteur soit générale ; c'est-à-dire, qu'elle agisse sur les planètes comme sur les corps terrestres. » (1)

L'idée de voir ainsi dans la pesanteur, non un phénomène spécial, mais une loi générale de l'Univers, offrait assurément des analogies trop frappantes avec le système newtonien, pour n'en avoir pas tiré quelque inspiration ; mais l'insistance à replonger cette idée dans un ensemble d'explications où les tourbillons et l'impulsion devaient jouer le rôle essentiel n'était pas moins caractéristique de la pensée cartésienne qui dirigeait les recherches de l'auteur (2).

Cette extension du problème de la pesanteur permettait à Bouillet d'écarter sur ce point l'action possible de corpuscules insensibles ou de l'air; car, outre que ces agents supposés

(1) *Op. cit.*, p. 2-3.

(2) Il précisait d'ailleurs : « Je suppose ici que l'Univers est arrangé et se meut de la manière que Descartes et la plupart des astronomes le prétendent. » (*Op. cit.*, p. 4).

de l'impulsion imprimée aux corps pesants sont eux-mêmes pesants, on ne pouvait songer à y trouver autre chose qu'une cause particulière et non la cause générale requise pour la solution du problème posé avec une telle ampleur. « Il faut donc, continuait-il (1), que ce soit un fluide fort subtil et extrêmement agité qui cause généralement la pesanteur de tous les corps, et, comme je ne connais pas de fluide plus subtil ni plus agité que l'éther ou la matière céleste qui se meut autour des planètes, qui pénètre jusqu'à leur centre et qui remplit tous les lieux, ce sera à cette matière que j'attribuerai l'impulsion qui cause la pesanteur. »

Cependant, lorsqu'il s'agissait de déterminer comment cette impulsion pouvait avoir l'efficacité nécessaire pour assurer la concordance des calculs avec les phénomènes, Bouillet, après avoir divisé la question, estimait que, relativement à l'action de la pesanteur sur les corps terrestres, l'explication cartésienne se trouvait en défaut. Particulièrement frappé par les objections soulevées par Huygens, il ne pensait pas que Saurin eût répondu d'une façon satisfaisante à celle qu'il s'était proposé d'examiner dans son mémoire de 1709. Reprenant spécialement les suppositions de Saurin relativement à la subtilité de la matière éthérée et à la perméabilite que présenteraient les corps solides à ce fluide subtil, en raison de la multiplicité de leurs pores, il s'attachait à montrer que l'affaiblissement de l'impression latérale de l'éther qui résulterait de telles conditions ne pourrait pas aller sans d'autres conséquences fort gênantes. « En effet, si ce raisonnement avait lieu, je veux dire, si la rareté des corps d'un côté et la subtilité des particules de l'éther de l'autre affaiblissaient infiniment l'impression latérale de ce fluide, sans diminuer à proportion l'effet de sa force centrifuge (car, si l'effet de la force centrifuge diminuait proportionnellement comme celui de l'impression latérale, les corps ne pourraient pas être repoussés en bas

(1) *Op. cit.*, p. 3-4.

comme on le prétend), il s'ensuivrait d'un côté, que la lune ne pourrait plus être entraînée autour de la terre, à cause que la matière qui circule à même distance qu'elle, passerait facilement à travers ses pores, et ne lui communiquerait pas assez de mouvement pour la faire tourner ; et de l'autre côté, qu'elle devrait se précipiter vers la terre, à cause qu'elle serait exposée à toute la force centrifuge de cette matière. Ce que je dis de la lune se doit entendre pareillement de la terre et des autres planètes qui tournent autour du soleil; mais, cela n'arrivant point, la difficulté subsiste dans toute sa force : car je ne pense pas qu'on puisse dire que la matière éthérée qui entraîne la lune autour de la terre soit plus dense ou moins subtile que celle qui tourne autour du centre de notre tourbillon, ou que le tourbillon de la lune soit plus solide ou moins rare que les corps terrestres, et ainsi de la matière qui fait tourner la terre et les autres planètes autour du soleil. » (1)

Quant à la confirmation, par la règle de Képler, de l'existence de cette vitesse du mouvement circulaire de la matière céleste autour de la terre, trouvée nécessairement 17 fois supérieure à celle de la terre pour causer la pesanteur constatée, « il est vrai, et nous n'avons nulle peine à en convenir, que la vitesse de la matière éthérée proche de la terre serait telle qu'on le suppose, si elle suivait exactement la règle que Képler a donnée, pour déterminer les différentes vitesses des planètes, ou de la matière qui les entraîne autour du soleil. Mais on suppose ici une chose qu'il faudrait prouver ; savoir, que les couches inférieures ou voisines du centre de notre tourbillon gardent, comme les couches éloignées du soleil ou du centre du grand tourbillon, la règle de Képler. » (2)

(1) *Op. cit.*, p. 13-14. Nous voyons quel avantage tirait Bouillet, dans cette discussion, de son idée de faire de la pesanteur une loi générale de l'univers, idée qui rappelait d'ailleurs, à bien des égards, la pensée de Newton.

(2) *Op. cit.*, p. 15. Et, si la supposition contraire risque de rendre inintelligible l'équilibre entre les couches supérieures et inférieures de notre tourbillon, cependant, on peut comprendre le maintien de cet équilibre « par le mouvement *propre* des molécules de la matière éthérée, lequel

Non content d'invoquer les expériences de Huygens sur les corps entraînés par un fluide mu autour d'un centre et les calculs de Newton sur la force centripète, Bouillet tirait encore argument contre l'explication cartésienne de l'expérience de Richer à Cayenne sur le raccourcissement du pendule. Car « si la pesanteur n'était que l'effet de la force centrifuge des couches fluides de notre tourbillon, les corps pesants devraient descendre plus vite sous l'équateur que partout ailleurs, contre l'observation que je viens de rapporter. Pour le prouver, il me suffira de faire remarquer que les couches célestes qui tournent dans le plan de l'Equateur, se meuvent avec beaucoup plus de rapidité que celles qui tournent dans le plan des cercles parallèles ; et qu'ainsi elles doivent plus faire d'effort pour s'éloigner du centre de leur révolution : ou, ce qui revient au même, qu'elles doivent avoir plus de force centrifuge, et partant qu'elles doivent pousser avec plus de violence les corps pesants vers le centre de la terre. » (1)

Mais, en ruinant ainsi l'idée même de Descartes, Bouillet ne cherchait pas à y substituer une explication contraire à l'esprit du cartésianisme (2) ; comme la plupart des disciples

supplée au mouvement *commun* des couches inférieures. » (p. 18.) Bouillet trouvait dans la théorie de Malebranche sur les petits tourbillons le moyen de rendre compte de l'équilibre. Car, en supposant au début une vitesse respective des couches conforme à la règle de Képler, les molécules de la matière éthérée des couches inférieures et voisines du centre de notre tourbillon, par une série de chocs contre les couches supérieures et aussi entre elles, ont dû se trouver contraintes de former, en tournant sur elles-mêmes, de petits tourbillons. Or, ces petits tourbillons « n'ont pu tourner ainsi avec rapidité autour de leur propre centre, sans qu'ils n'aient fait effort pour s'échapper de tous côtés ou n'aient, par leurs vibrations continuelles, exercé une espèce de ressort et sans qu'ils n'aient eu tous ensemble, à raison de ce ressort, autant de force pour soutenir les couches supérieures qu'en avait la couche entière dans laquelle ils sont compris, lorsqu'elle circulait avec toute sa première vitesse. » (*Op. cit.*, p. 23.)

(1) *Op. cit.*, p. 19-20.

(2) Cependant les cartésiens intransigeants se refusaient à admettre ces modifications apportées aux idées mêmes de Descartes. Les rédacteurs du *Journal de Trévoux*, notamment, ne se montrèrent pas satisfaits des em-

de Descartes, il cherchait à transformer les doctrines du maître pour sauver le système des objections qu'on lui opposait. Après avoir ainsi prouvé que ce n'est pas par la force que la matière éthérée tire de son mouvement commun autour de la terre, qu'elle cause la pesanteur, il se rejetait sur la force qu'elle tire du mouvement propre que ses molécules doivent avoir autour de leur propre centre ; et par là il rejoignait Malebranche avec ses petits tourbillons.

Toute l'explication reposait sur deux notions fondamentales: celle de l'équilibre entre les couches sphériques et concentriques du tourbillon terrestre et celle de la force centrifuge ou ressort des petits tourbillons. « Si l'on suppose maintenant qu'un corps grossier et dont les parties n'ont aucun mouvement est élevé au dessus de la surface de la terre, on verra bien que ce corps doit diminuer le mouvement de la couche sphérique dans laquelle il se trouve, d'une quantité égale à celle qu'avait le volume des petits tourbillons qu'il a obligés à descendre, en prenant leur place ; et que cette couche doit par conséquent résister moins à l'effort des couches inférieures, ou, ce qui revient au même, qu'elle doit les repousser avec moins de violence vers le centre de la terre. Or les couches inférieures ne peuvent pas être repoussées avec moins de violence vers le centre de la terre, que leurs petits tourbillons ne se débandent, et qu'ils ne s'élèvent en ligne droite vers l'endroit où ils trouvent moins de résistance; c'est-à-dire au-dessus du corps grossier. Car enfin ces tourbillons ne peuvent point exercer leur ressort, ou s'échapper vers le centre de la terre, à cause que ce centre est également comprimé de tous côtés par la couche sphérique qui l'environne ; ils ne peuvent point

prunts de Bouillet au P. Malebranche. Mais nous ne saurions, sans sortir du cadre que nous nous sommes tracé, envisager les discussions entre cartésiens rigides et disciples de Malebranche. Nous prenons, au contraire, occasion de préciser ici que, constamment, au cours de cette étude, nous réunissons sous le titre de cartésiens, pour les opposer aux newtoniens, tous ceux qui, directement ou indirectement, se rattachaient à Descartes.

aussi se débander par les côtés du cercle que leur couche décrit autour de ce centre, à cause de l'effort réciproque des autres tourbillons qui la composent ; effort qui entretient une espèce d'équilibre entre eux... ; ils doivent donc s'éloigner du centre de la terre, et s'élever au-dessus du corps grossier. Mais les petits tourbillons de la matière éthérée ne peuvent pas s'élever par leur ressort au-dessus du corps grossier, sans qu'ils ne repoussent ce corps vers le centre de la terre, et ne l'obligent à descendre par une ligne droite qui tende à ce centre, conformément à l'expérience. » (1)

L'empressement que mettait encore Bouillet à montrer que son hypothèse, bien loin de contredire les résultats apportés par Cassini sur la figure de la terre, contribuait au contraire à donner à la terre la forme d'un sphéroïde allongé dans le sens de son axe, était une nouvelle preuve de l'insistance avec laquelle il tenait à s'éloigner de Newton.

Passant de la considération de la pesanteur des corps terrestres à l'examen de la pesanteur de la terre et des autres planètes vers le soleil et de leurs satellites vers elles : « Ressouvenons-nous, disait-il (2), de l'équilibre que nous avons établi entre les couches qui circulent à diverses distances du centre du tourbillon terrestre ; et concevons que la même chose a lieu dans le grand tourbillon, dont le soleil est le centre : concevons, dis-je, qu'autant que les couches supérieures de ce tourbillon sont poussées vers le soleil par la matière qui les environne et qui les comprime également de tous côtés, autant elles en sont repoussées, non seulement par la force centrifuge qui nait de la vitesse circulaire des couches inférieures, mais encore par le ressort des petits tourbillons dont elles sont composées, lequel équivale, comme on a vu ci-dessus, la force

(1) *Op. cit.*, p. 24-25. La force centrifuge ou ressort des petits tourbillons remplaçait dans ce système ce que l'abbé Villemot avait dénommé *tendance* dans sa *Nouvelle explication du mouvement des planètes.*

(2) *Op. cit.*, p. 49.

centrifuge des couches qui ne se meuvent pas autour du centre commun avec la vitesse qu'exige la règle de Képler. Cela posé, on comprend aisément d'un côté que la terre ne saurait s'éloigner considérablement du cercle ou de l'ellipse qu'elle décrit autour du soleil, parce qu'autant qu'elle pousse les couches supérieures, par la force centrifuge qui résulte de la vitesse de la couche fluide qui l'entraîne, autant elle en est repoussée, et par conséquent contrainte de circuler à une distance presque toujours égale du centre de cet astre ; mais de l'autre côté il est aisé de voir que le ressort des petits tourbillons qui composent le soleil et les couches voisines de la surface de cet astre doit s'étendre à la ronde par des lignes droites en forme de rayons, et agir sur la terre et les autres planètes qui s'opposent à ses vibrations ; et qu'il doit par conséquent faire effort pour les faire descendre vers le soleil.» Et, si l'on veut comprendre pourquoi cet effort n'a pas son effet, « il faut remarquer qu'outre la force centrifuge qui résulte du mouvement circulaire des couches qui entraînent la terre et les autres planètes autour du soleil, la terre et les autres planètes ont d'ailleurs une autre force qui résiste à celle des petits tourbillons qui s'efforcent de s'éloigner du soleil ; car autrement elles se précipiteraient vers cet astre de la même manière que les corps jetés en haut retombent vers la terre. En effet, on sait que la terre et les autres planètes ont leurs tourbillons particuliers, et que ces tourbillons se meuvent avec beaucoup de vitesse autour de leurs planètes. On peut donc considérer ces tourbillons comme autant de ressorts extrêmement bandés, et qui font continuellement effort pour se dilater de tous côtés. Mais comme la résistance est plus grande vers le centre du grand tourbillon, les tourbillons particuliers des planètes de débanderaient vers la circonférence, et entraîneraient avec eux les planètes autour desquelles ils se meuvent, ou, ce qui est la même chose, les planètes s'éloigneraient du soleil, si le ressort des petits tourbillons qui se répand depuis le soleil jusqu'à elles ne s'y opposait. Ainsi

c'est à raison du ressort ou de la force centrifuge qui résulte du mouvement propre de chaque tourbillon autour de la planète qu'il environne, que la terre et les autres planètes résistent à leur pesanteur, ou qu'elles contrebalancent le ressort des petits tourbillons qui sont au-dessous d'elles ; c'est-à-dire qu'elles repoussent ces tourbillons vers le soleil avec un effort égal à celui qu'ils font pour s'en éloigner. Cela étant ainsi, elles doivent rester suspendues et comme en équilibre entre ces deux forces opposées. » (1)

« Ainsi, concluait Bouillet (2), la pesanteur des corps terrestres et celle des planètes ne reconnaissent qu'une même cause. Ce qui n'est pas une petite preuve de la vérité de mon hypothèse. »

22. — Le newtonianisme vit son importance encore accrue en France après la publication des *Physices elementa sive Introductio ad philosophiam newtonianam* de 'sGravesande (3). L'influence que, dès cette époque, la Hollande avait commencé à prendre sur la France au point de vue scientifique devait contribuer à mettre cet ouvrage au premier plan : si bien que, malgré l'attachement des principaux rédacteurs du *Journal des Savants* au cartésianisme, il peut paraître étonnant qu'ils aient réussi à garder le silence sur cette importante contribution à la physique.

Le sous-titre même de l'ouvrage en indiquait bien l'esprit. Newtonien, 'sGravesande l'était d'abord par sa méthode, dont il développait les principales caractéristiques dans une préface, constamment inspirée de Newton, et dans le premier

(1) *Op. cit.*, p. 51-52.

(2) *Op. cit.*, p. 53.

(3) Deux vol. in-4°, Leyde, 1720-1721. Nous aurons bien des fois, au cours de cette étude, à revenir sur l'influence exercée en France par les physiciens hollandais. Nous avons étudié une forme spéciale de cette influence dans un précédent ouvrage sur *Les Physiciens hollandais et la méthode expérimentale en France, au XVIIIe siècle*, 1 vol. in-8, Paris, Blanchard, 1926.

chapitre, où avant de formuler les trois grandes règles de la méthode, et après avoir affirmé que « ce n'est qu'en examinant les phénomènes qu'on découvre les lois de la Nature », il posait que, « pour découvrir ces lois, il importe d'observer les règles... que Newton a proposées le premier. » (1)

Newtonien, 'sGravesande l'était encore par sa manière de résoudre un grand nombre des problèmes soulevés dans ce cours et par ses nombreuses références implicites aux théories de Newton. Définissant déjà, dans son chapitre V du livre I, l'attraction « toute force, de quelque nature qu'elle puisse être, qui fait que deux corps tendent l'un vers l'autre, quoique ce soit peut-être par impulsion » (2), il s'estimait autorisé par cette façon de considérer l'attraction comme un phénomène et non comme une cause à y chercher l'explication de la cohésion des parties de la matière. « Que si, précisait-il (3), sous prétexte que nous n'assignons pas la cause de cette attraction et de cette répulsion, on dit qu'il faut les mettre au nombre des qualités occultes, nous répondrons avec Newton que nous considérons ces principes, non comme des *qualités occultes*, qui naissent des *formes spécifiques* des choses, mais comme des *lois universelles* de la nature, par lesquelles les choses mêmes ont été formées ; les phénomènes de la Nature ne nous permettant pas de douter qu'il n'y ait de tels principes, quoique les causes n'en aient pas encore été assignées. Affirmer que les différentes espèces de choses sont douées de *qualités spécifiques et occultes*, qui leur donnent une certaine force pour agir, ce n'est rien dire. Mais déduire des phénomènes de la Nature deux ou trois principes généraux de mouvement, et ensuite expliquer comment les propriétés et les

(1) Nous citons d'après la traduction Elie de Joncourt, 2 vol. in-4°, Leyde, 1746, I, p. 3. Nous n'insistons pas ici sur cette méthode, pour l'exposé de laquelle nous renvoyons à notre ouvrage cité dans la note précédente.

(2) *Op. cit.*, I, p. 17.

(3) *Op. cit.*, I, p. 23.

actions de toutes choses découlent de ces principes, ce serait un grand pas de fait dans la philosophie, quand même les causes de ces principes ne seraient pas connues. »

Non seulement il empruntait encore à Newton le principe de ses démonstrations concernant les forces centrales, et, en optique, ses idées sur la différente réfrangibilité des rayons solaires ; mais encore et surtout le dernier livre sur le système du monde n'était guère autre chose qu'un résumé de la théorie de Newton, surtout lorsqu'il envisageait les « causes physiques des mouvements célestes. »

Son exposé débutait par un énoncé de la loi de gravitation universelle : « Tous les corps gravitent mutuellement les uns vers les autres. Cette gravité de la matière est proportionnelle à sa quantité. A d'inégales distances elle est en raison inverse du carré de la distance. C'est-à-dire, tous les corps tendent les uns vers les autres par une force qui se trouve dans chaque particule de matière ; et la force, avec laquelle un corps agit sur les autres corps, est la somme des forces des particules dont ce corps est composé ; ainsi cette force augmente en même raison que la quantité de matière, et est toujours la même dans chaque particule. Elle est, en général, la même aussi, à la même distance, et quand la distance augmente, la force décroît en même raison que le carré de l'augmentation de la distance.

« Nous donnons à cette force le nom de gravité, en considérant un corps qui tend de lui-même vers un autre ; car c'est par ce mot qu'on désigne cette même force dans le voisinage de la terre.

« En considérant un corps vers lequel un autre tend, nous appelons cette force attraction. Ces mots marquent une seule et même chose, et nous nous en servons pour exprimer un effet et rien de plus ; car, comme toute gravité est réciproque, dire que les corps gravitent les uns vers les autres, c'est dire en d'autres termes que les corps s'attirent mutuellement, ou tendent mutuellement d'eux-mêmes les uns vers les autres.

« Nous tenons cet effet pour une loi de la nature, parce qu'il

a toujours lieu, que nous en ignorons la cause et qu'il est impossible de la déduire des lois qui nous sont connues. » (1)

En effet, après avoir prouvé par des phénomènes que les choses se passent ainsi dans l'Univers, 'sGravesande s'attachait à établir cette impossibilité de faire dépendre la loi d'attraction d'aucune autre loi. Et toute la démonstration reposait surtout sur les considérations suivantes, nettement dirigées contre la prétention de certains cartésiens (favorisée d'ailleurs par quelques textes de Newton lui-même) de retrouver l'impulsion derrière l'attraction, « que si la gravité dépendait de quelque loi de mouvement connue, elle devrait être rapportée à l'impulsion de quelque corps extérieur, et même à une impulsion, qui, parce que la gravité est continue, devrait être continue aussi.

« S'il y avait quelque matière, qui donnât continuellement contre les corps, il faudrait nécessairement qu'elle fût fluide, et d'une subtilité à pénétrer jusqu'aux parties les plus intimes de tous les corps, la gravité n'agissant pas moins sur ces parties que sur toutes les autres.

« Cela étant, nous laissons à tout mathématicien à juger, si un fluide, assez subtil pour passer librement par les pores de tous les corps, et assez rare pour n'apporter aucun obstacle sensible aux mouvements des corps (le mouvement d'un pendule continuant très longtemps dans un lieu vide d'air), pourrait pousser les uns vers les autres de si grands corps avec tant de force.

« Qu'il explique comment cette action croît en même raison que la masse du corps vers lequel un autre corps tend.

« Enfin, ce qui me paraît bien plus difficile encore, qu'il dise comment tous les corps, dans quelque situation qu'ils soient, peuvent être transportés avec la même vitesse, quand la dis-

(1) *Op. cit.*, II, p. 376-377. Bien que la traduction Elie de Joncourt ait été faite sur la troisième édition latine, bien différente de la première, nous avons recours à cette traduction, parce que les nombreuses corrections de l'auteur dans lès éditions successsives n'ont à peu près pas porté sur les passages que nous citons.

tance du corps vers lequel la gravité les fait aller reste la même, et que ce corps reste le même aussi, c'est-à-dire comment un fluide, qui n'agit que sur les superficies, soit des corps mêmes, soit des parties internes auxquelles le fluide en question peut parvenir, communique à ces corps un mouvement qui suive exactement la proportion de la quantité de matière qu'ils contiennent...

« Nous ne nions pas cependant que la gravité ne puisse dépendre de quelque impulsion, mais nous soutenons qu'elle ne dépend d'aucune impulsion agissant suivant les lois qui nous sont connues, et nous avouons que la cause de la gravité nous est entièrement inconnue. » (1)

Sous l'apparence d'une concession éventuelle, cette dernière remarque n'était bien en réalité qu'une critique à l'adresse du cartésianisme, la constatation de son impuissance radicale à expliquer les phénomènes autrement que par un mot ; car il ne pouvait y avoir autre chose qu'une abstraction vide derrière ce terme impulsion, après que, par cette distinction entre *quelque* impulsion et l'impulsion dont on connaissait les lois, on aurait retiré de la première tout ce qui faisait de la seconde quelque chose d'intelligible. Si bien que toute cette argumentation aboutissait, en renforçant la position newtonienne et en en mettant en évidence à la fois la valeur et l'originalité, à ôter aux partisans du cartésianisme la possibilité même de tirer parti de la concession faite à eux par Newton, lorsqu'il admettait que peut-être y avait-il encore derrière l'attraction une sorte d'impulsion cachée mais effectivement agissante.

Autant que sur la loi d'attraction universelle, 'sGravesande se montrait affirmatif sur l'existence du vide. « La possibilité du vide peut se déduire, pensait-il (2), du seul examen de nos idées. Tout ce que nous concevons clairement pouvoir exister, est par cela même possible ; car s'il y avait dans un objet

(1) *Op. cit.*, II, p. 384-385.
(2) *Op. cit.*, I, p. 5.

quelque chose qui en empêchât l'existence, l'idée de cet empêchement serait contenue dans l'idée de l'objet, et empêcherait que nous n'en pussions concevoir la possibilité. Ainsi toute la question se réduit à savoir si nous avons l'idée d'une étendue qui ne contienne aucune matière. » Or, à cette question, 'sGravesande estimait que l'on devait répondre affirmativement pour diverses raisons.

La première lui paraissait découler d'une exacte distinction entre la notion d'étendue et celle de solidité, car « dans l'idée d'étendue n'est pas contenue celle de solidité, cette dernière n'étant déduite que de l'idée de résistance, et ne nous venant que par l'attouchement. C'est pourquoi celui qui n'aurait jamais touché de corps aurait une idée claire de l'étendue, sans pouvoir se former la moindre notion de la solidité. »

Bien plus, « ce n'est pas le seul défaut de solidité qui constitue la différence entre l'espace et les corps. » En effet, tandis que l'espace est infini, parce que pour lui donner des bornes il faudrait faire appel à un autre espace capable de le contenir, et composé de parties immobiles et inséparables, il n'en est plus de même des corps. Quant à l'impossibilité pour deux parties de l'espace de se confondre, elle ne suppose pas leur impénétrabilité ou leur solidité, mais seulement l'immobilité de ces parties qui s'oppose au transport de l'une quelconque dans un autre lieu que celui qu'elle détermine.

Pour passer ensuite de la possibilité du vide ainsi établie à l'existence de ce vide, il fallait à 'sGravesande de nouveaux arguments, mais il ne croyait pas impossible de les trouver.

D'abord « l'existence du vide peut se déduire de la seule considération du mouvement. Pour sentir la force de cet argument commun, il faut considérer que, si quelques mouvements pouvaient avoir lieu dans le plein, la plupart de ceux qui s'offrent journellement à nos yeux seraient néanmoins impossibles, s'il n'y avait point de vide. » (1)

(1) *Op. cit.*, II, p. 389.

Ensuite « la résistance fournit aussi un argument en faveur du vide » (1) ; car, si tout était plein, un globe en mouvement dans un milieu ayant une densité égale à la sienne (et dans le cas du plein cette condition se trouverait remplie) perdrait la moitié de sa vitesse avant d'avoir parcouru une fois et demie la longueur de son diamètre, ce que l'expérience ne confirme pas.

« Les phénomènes, par lesquels il paraît que la gravité est proportionnelle à la quantité de matière, s'accordent aussi avec l'assertion qu'il y a du vide. Car, si tout était plein de matière, la gravité agirait également de tous côtés, c'est-à-dire que les effets de la gravité ne seraient plus sensibles, des forces égales, dirigées vers des côtés opposés, s'entredétruisant mutuellement. Cette considération confirme qu'il y a du vide, mais seule ne le prouve pas. » (2)

Cette existence du vide ne pouvait manquer, une fois admise, d'avoir pour conséquence un ébranlement de la thèse tourbillonnaire. 'sGravesande ne manquait pas d'ailleurs de s'opposer directement à cette conception cartésienne. En effet, l'inexistence des tourbillons ne pouvait être tirée à titre de simple conséquence de l'existence du vide qu'à condition de concevoir celui-ci comme un vide absolu en quelque sorte, c'est-à-dire n'admettant dans les espaces célestes aucune matière quelconque; tandis que 'sGravesande n'avait pas prouvé autre chose qu'un vide, pour ainsi dire, intersticiel introduisant seulement au moins des intervalles et des séparations dans une matière céleste peut-être réelle. La réalité de cette matière céleste restait même d'autant plus vraisemblable qu' « une des conséquences de la divisibilité de la matière est qu'une quantité de matière, quelque petite qu'elle soit, peut être répandue dans tout le système planétaire, en laissant des interstices vides aussi petits qu'on voudra. » (3)

(1) *Op. cit.*, II, p. 390.
(2) *Op. cit.*, II, p. 392.
(3) *Op. cit.*, II, p. 393.

Mais « les mouvements des astres ne dépendent point de celui d'une matière céleste, supposé qu'il y en ait une ; ce qui prouve que le sentiment de ceux qui prétendent que les corps célestes sont transportés d'un mouvement commun avec une matière, qui remplit le système planétaire, est insoutenable. » (1) Outre que cela paraissait à 'sGravesande résulter directement de l'impossibilité déjà reconnue de retrouver derrière l'attraction une impulsion agissant suivant des lois connues, il reprenait encore l'argument tiré du mouvement des comètes. D'ailleurs, « en comparant ensemble, ajoutait-il, les observations des plus anciens astronomes et celles des astronomes modernes, il paraît que les planètes n'ont pas été sensiblement retardées dans leurs mouvements. Il faut donc, comme la résistance dans l'air est sensible, que la densité du milieu dans lequel les planètes se meuvent soit infiniment moindre que celle de l'air; ainsi le système planétaire ne peut être rempli que d'un milieu extrêmement subtil. » Ces dernières remarques s'inspiraient encore d'une objection de Newton contre les tourbillons : la difficulté de concilier la constance des mouvements planétaires avec l'existence d'une matière céleste, dont la résistance ne serait pas nulle.

'sGravesande tirait ensuite de ces principes et des lois générales du mouvement une explication physique de tout le système planétaire d'après Newton, une explication du mouvement de la lune et des figures des planètes dans le même système, une explication encore du mouvement de l'axe de la terre, enfin une théorie du flux et du reflux de la mer.

23. — Cependant ces *Eléments de physique* de 'sGravesande ne furent pas sans soulever bien vite des critiques, et ce fut l'occasion pour le P. Castel de faire éclater son opposition contre le newtonianisme (2). Non seulement il critiqua l'appel-

(1) *Op. cit.*, II, p. 392.
(2) *Journal de Trévoux*, mai et octobre 1721.

lation de newtonien qui se donnait 'sGravesande, comme si « la méthode de procéder par géométrie et par expériences » était l'apanage exclusif de Newton (1), mais il s'attaqua encore aux explications newtoniennes.

L'impossibilité de prouver le vide résultait, suivant le P. Castel, de l'attitude même de 'sGravesande et de son incertitude dans le choix des moyens. « D'abord c'est par les phénomènes qu'il prétend établir le vide, et puis c'est par idée qu'il se borne, je ne sais comment, à en établir la simple possibilité. » (2)

La méthode de 'sGravesande paraissait au P. Castel encore moins solide, lorsqu'il s'agissait d'établir la loi d'attraction. « Dans les autres systèmes on emploie pour preuves les connaissances que l'on a, et c'est en effet la manière ordinaire des philosophes, et surtout des géomètres, de passer du connu à l'inconnu ; ici c'est tout le contraire, l'auteur commence par établir qu'il ignore la cause du phénomène en question, ignoro; et c'est sur ce principe incontestable qu'il conclut que c'est une loi qui le produit. Ces sortes d'aveux sont assurément dignes d'un philosophe ; mais un livre tout plein de pareils aveux, était-ce la peine de le faire ? Est-ce le livre d'un philosophe-physicien ? » (3).

Quant à l'idée même d'attraction, le critique ne ménageait pas ses efforts pour la tourner en ridicule. « Cette loi, conti-

(1) Il constatait ainsi sur le ton de la plaisanterie : « Il est toujours flatteur, même glorieux pour lui, d'avoir si bien su donner un air de géométrie et d'expérience, et, ce qu'il y a de plus singulier, un air de nouveauté, à un système aussi antique et aussi décrié que celui du vide, des attractions et des gravités indépendantes de toutes formes et structures mécaniques, et de voir un peuple de fidèles disciples uniquement dévoués à ranimer avec un travail infatigable ses propres pensées, ses expériences, son style même et ses expressions dans leurs livres, copies très naïves des siens. » (*Journal de Trévoux*, 1721, octobre, p. 1768-69).

(2) *Op. cit.*, p. 1770. L'exposé que nous avons fait plus haut de l'argumentation de 'sGravesande suffit à faire apparaître le parti pris de cette critique.

(3) *Op. cit.*, p. 1773.

nuait-il, consiste surtout en ce que toutes les particules jouissent d'une force attractive : *omnes particulas vi attractiva gaudere.* Il s'en faut peu que ces parties ne ressentent leur force et leur vertu. Ce mot *gaudere* n'est pas indifférent, il nous rappelle fort à propos les amitiés, les exigences, les appétits, les appétences des philosophes nos aïeux. L'Auteur, qu'on ne s'y trompe pas, explique pourtant ce qu'il entend par attraction ; il entend *une force quelconque* (occulte) qui porte deux corps l'un vers l'autre, *quoique peut-être*, ajoute-t-il, *l'impulsion y ait lieu;* voilà un *peut-être* qui rend M. 'sGravesande recevable à se justifier du soupçon des qualités occultes.

« On voit assez que c'est un doute affecté, et qu'il n'ose pas franchir de bonne grâce et à découvert le mur de séparation que Descartes a mis entre notre siècle et les siècles précédents. Je ne prête rien aux auteurs du système des attractions modernes ; ils font précision de l'impulsion, ils protestent contre les qualités occultes ; Descartes et Rohault ne protestaient point tant, et on ne s'avisait pas de les en soupçonner : il y a des apologies qui servent d'accusation ; mais c'est un fait : un corps placé dans le vide, plongé et comme absorbé dans le vide, ne reçoit ni ne communique aucune impulsion ; il est cependant attiré et il attire, suivant le système de M. 'sGravesande. » (1)

Bien plus, « ce système d'attraction universelle est ou faux, ou très imparfait. On remarque dans le vrai système des choses autant de fuite que d'attraction ; l'eau et l'huile mêlées ensemble se séparent, se fuient, autant que l'eau attire l'eau et que l'huile attire l'huile : c'est là une loi à quoi M. 'sGravesande paraît n'avoir fait aucune attention : c'est ce que les Anciens expliquaient par les noms d'attraction et de fuite, d'amitié et de haine, de sympathie et d'antipathie, et que les cartésiens marquent par ceux d'association et de dissociation.

« Pour établir l'attraction universelle, M. 'sGravesande rap-

(1) *Op. cit.*, p. 1774-1775.

porte divers phénomènes que Rohault, parlant aussi de la forme du corps dur et du corps liquide, rapporte la plupart pour établir et développer le mécanisme de la nature à cet égard. Cet endroit de Rohault n'est pas ce qu'il y a de moins estimable dans ses ouvrages ; les explications d'une infinité de phénomènes naturels et artificiels s'y trouvent, mais si simples, si faciles, si naturelles, qu'on y touche presque au doigt la nature : le système de l'attraction y est expressément réfuté sous les noms équivalents d'amitié et de haine. » (1)

Et cette sorte de protestation, bien loin de rester isolée, rejoignait au contraire les conclusions analogues qu'un certain nombre d'ouvrages mettaient, précisément à cette époque, en une plus vive lumière.

L'inspiration cartésienne du *Discours* de Crouzas *sur le principe, la nature et la communication du mouvement,* d'ailleurs couronné par l'Académie des Sciences en 1721, ne laissait guère de doute, si l'on en jugeait par des passages tels que ce développement sur l'étendue : « Il faut convenir que l'étendue est une substance, puisque la définition de la substance lui convient tout à fait ; il n'y a point de caractère plus sûr, ni de voie plus naturelle pour en décider; on conçoit que l'étendue a une existence qui lui est propre, une existence à part, qui n'est l'existence d'aucune autre chose ; c'est ce qu'on ne concevrait point, si elle était le mode, l'attribut, la manière d'être d'une autre substance.

« L'étendue étant une substance, l'étendue et la substance étendue sont des termes synonymes... » (2).

Bien plus, dans sa *Dissertation sur les causes du ressort* (3), couronnée la même année par l'Académie de Bordeaux, Crouzas commençait son exposé en marquant nettement sa défiance pour toute explication que n'inspirerait pas un mécanisme

(1) *Op. cit.*, p. 1775-1776.
(2) *Op. cit.*, p. 12.
(3) Un vol. in-12, Bordeaux, 1721.

plus ou moins directement apparenté à celui de Descartes et cherchant dans l'impulsion la cause fondamentale des changements survenus dans la nature. « Que des corps, sans le savoir, disait-il (1), aient quelque inclination à s'approcher les uns des autres, qu'ils y soient portés par quelque instinct intérieur, ou par quelque chose d'analogue : qu'une espèce d'âme soit le principe de ces mouvements qu'on appelle naturels, et qu'elle répugne à ceux qu'on appelle violents, ce sont là des suppositions dont je n'ai aucune idée. En bonne physique, on ne doit pas se les permettre ; on n'y doit point trouver de certains *je ne sais quoi* et des vertus *occultes* qui ne ressemblent pas mal à celle des Fées. » (2)

Quant à de Gamaches (3), il était trop délibérément cartésien pour ne pas s'élever contre les théories newtoniennes, et notamment contre le vide et l'attraction. « Car le vide, de la manière même dont ils le conçoivent, remarquait-il en faisant allusion aux partisans de Newton (4), est réellement un espace qui a des parties de différentes figures et de différentes grandeurs ; des parties réellement distinguées les unes des autres et qui subsistent par elles-mêmes, ce qui ressemble déjà fort à la matière. Ajoutons à cela que ces parties n'ayant entre elles aucun arrangement qu'on puisse supposer nécessaire, rien n'empêche que l'Auteur de la nature ne les dérange quand bon lui semble : ainsi le mouvement convient encore aux espaces qu'on prend pour le vide. Que manque-t-il donc à ces espaces pour nous paraître des corps? Il leur manque de se présenter à nous revêtus de qualités sensibles, mais c'est à nos sens et à notre imagination à les en revêtir. »

(1) *Op. cit.*, p. 2.

(2) Crouzas donnait au ressort deux causes essentielles : la plus importante était, d'après lui, l'action intérieure de la matière fluide qui traverse les pores des corps à ressort ; mais il y ajoutait l'action extérieure du fluide qui les environne. On ne peut méconnaître l'inspiration cartésienne de ces explications.

(3) *Système du mouvement*, un vol. in-12, Paris, 1721.

(4) *Op. cit.*, p. 12.

Quant à la façon dont se communique le mouvement, « nous nous apercevons bientôt que la rencontre des corps peut seule être la cause de la distribution du mouvement, du moins s'il faut que cette cause soit générale. En effet, supposons qu'il y eût une loi par laquelle tous les corps dussent ou s'attirer ou se repousser en se présentant simplement les uns aux autres : il est clair que, comme l'attraction ou l'expulsion serait réciproque de toute part, tout demeurerait en équilibre, et qu'ainsi le mouvement serait détruit par la loi même, selon laquelle nous voudrions qu'il se communiquât. » (1)

24. — Sans être inspiré directement des thèses de Descartes, un ouvrage de Hartsoeker (2) apporta d'ailleurs aux cartésiens, en même temps qu'une aide contre le newtonianisme, l'occasion de poursuivre leur opposition à l'égard de cette doctrine.

« Tant qu'on soutient qu'il y a une pesanteur, c'est-à-dire que tous les corps sensibles et grossiers qui nous environnent et que nous connaissons, tendent vers le centre de la terre, ce que l'expérience nous apprend, et qu'on ne saurait par conséquent révoquer en doute, personne ne peut trouver à y redire ; mais dès qu'on avance qu'elle vient de l'attraction de la terre, et qu'on en tire ensuite mille conséquences, savoir que tous les corps s'attirent mutuellement ; que les forces, avec lesquelles un corps en attire un autre, sont en raison réciproque des carrés de leur distance ; que le soleil attire les planètes ; que ces planètes attirent leurs satellites ; que cette attraction est la cause des mouvements curvilignes de ces planètes et de leurs satellites, et autres choses pareilles, on commet la même faute qu'on reproche aux autres, on affirme ce qu'on ignore parfaitement, et l'on prend des chimères pour la vérité. » (3)

Pour appuyer cette assertion, Hartsoeker proposait une expé-

(1) *Op. cit.*, p. 109-110.

(2) *Recueil de plusieurs pièces de physique, où l'on fait voir principalement l'invalidité du système de Newton.* 1. vol. Utrecht 1722.

(3) *Op. cit.*, p. 19.

rience. « Qu'on suspende, disait-il, deux cubes d'acier d'un pouce de diamètre chacun, à deux fils, en sorte qu'ils se touchent presque par un de leurs côtés, l'expérience nous apprend qu'ils ne s'approchent pas, pour ainsi dire, de l'épaisseur d'un atome, quand ils sont ainsi suspendus dans un lieu enfermé, ou bien dans le vide pneumatique, quoique le choc d'un atome les fasse changer de place. Cependant, si ces deux cubes se touchaient immédiatement, ou, ce qui est la même chose, s'ils ne faisaient qu'un seul parallélépipède d'un pouce d'épaisseur, une force de plus de cent mille livres ne les séparerait pas. Ainsi il faut qu'il y ait quelque autre cause de cette forte union des parcelles d'un corps qu'une prétendue attraction mutuelle dont M. Newton parle dans ses ouvrages, et qu'il y ait quelque autre mystère. Il est vrai qu'il dit que cela se fait par une certaine cohésion ; mais c'est encore un de ces mots qui ne signifient rien, et une autre qualité occulte, qu'il faudrait bannir de la physique autant qu'on pourrait. Mais, comme l'on est à présent sur le chemin, je crains qu'on n'en invente encore bien d'autres, et qu'on ne retourne à la fin à la physique du temps passé, où l'on ne se payait que de mots barbares et vides de sens. »

D'ailleurs, en restant sur le seul terrain de la physique céleste, Hartsoeker trouvait encore à l'attraction d'autres difficultés considérables.

D'abord il pensait qu'en calculant l'attraction d'après les bases fournies par Newton, on devait trouver qu'au moment de la nouvelle lune, cet astre serait attiré avec deux fois plus de force par le soleil que par la terre. « Ainsi elle devrait alors abandonner la terre et tomber en très peu de temps dans le soleil. De plus, la lune devrait être beaucoup moins éloignée de la terre dans la pleine lune, lorsque le soleil et la terre la tireraient conjointement vers le même côté, que dans la nouvelle lune, lorsque le soleil la tirerait vers un côté et la terre vers le côté opposé. Elle devrait aller avec une très grande rapidité, lorsqu'elle serait vers son dernier quartier, et très

lentement ou point du tout, ou bien avec un mouvement contraire, lorsqu'elle serait vers son premier quartier, etc

« Je conclus donc de tout cela, avec assez de raison, ce me semble, que tout ce que M. Newton avance, touchant l'attraction mutuelle des corps, n'est point fondé, et qu'on ne peut en aucune façon expliquer par elle les mouvements des corps célestes. » (1)

« Mais supposons avec M. Newton, reprenait-il encore, que le soleil attire les planètes, et que sans cette attraction elles iraient le long des tangentes de leurs orbites. Cela étant, il s'ensuivrait que les planètes seraient en très peu de temps tirées jusque dans le soleil, si elles perdaient la force qu'elles auraient de parcourir les tangentes de leurs orbites... Et comme elles en devraient perdre continuellement dans chaque révolution qu'elles feraient, ce qui ne serait peut-être pas difficile de faire voir, elles ne pourraient manquer de tomber en très peu de temps dans le soleil, si elles ne recevaient pas continuellement une nouvelle force ou impulsion pour aller le long des tangentes de leurs orbites. » (2) Le temps que mettrait le soleil à attirer ainsi les planètes devrait même être d'autant plus court que, d'après le calcul même de Newton, la gravitation est en raison réciproque des carrés des distances.

« Les planètes auraient donc grandement besoin dans ce système d'un bon guide ; et si elles en avaient besoin, les comètes ne pourraient s'en passer dans leur voyage de plusieurs siècles, le long d'un chemin presque infini, savoir dans des orbites elliptiques extrêmement longues, et qui approchent des courbes paraboliques, dans l'un des foyers desquelles le soleil

(1) *Op. cit.*, p. 3.

(2) *Op. cit.*, p. 4. « La question n'est pas, précisait-il encore (p. 29) si les planètes décrivent des ellipses autour du soleil, ce qu'on ne peut révoquer en doute ; mais pourquoi elles en décrivent, et en ont décrit avec une régularité surprenante pendant plusieurs siècles de suite. C'est ce que je demande qu'on m'explique par de bonnes raisons physiques, et c'est ce que M. Newton ne fera jamais par deux forces antagonistes, dont l'une doit de toute nécessité l'emporter aussitôt sur l'autre. »

est placé. Comme elles vont de cette manière presque en ligne droite, pendant plusieurs années de suite, qu'est-ce qui les détournerait de ce chemin, et leur ferait décrire une ligne assez courbe pour les faire retourner vers le soleil, quand elles seraient presque au bout de leur carrière, et les plus éloignées de cet astre? » (1).

Si d'ailleurs Hartsoeker n'était pas absolument cartésien (2), il n'en ajoutait pas moins à sa critique de l'attraction newtonienne des arguments en faveur de l'hypothèse des tourbillons (3). En effet, « comme M. Newton soutient que la lune ne se meut pas autour de la terre dans un tourbillon de matière qui l'entraîne autour du soleil, mais dans un vide presque absolu, comment pourrait-elle suivre ce mouvement rapide de la terre ? Car si l'on soutient que la terre l'attire pour cela avec beaucoup de force, l'on soutient une chose absurde et impossible parce que si la terre l'attirait ainsi, quand elle serait, par exemple, dans son premier quartier, et par conséquent qu'elle

(1) *Op. cit.*, p. 5. D'ailleurs « les plus habiles astronomes disputent encore entre eux, si les comètes sont fort proches ou fort éloignées de nous, au-dessus ou au-dessous de Saturne, ou au-dessous de Mars, et même dans notre voisinage quand elles sont visibles ; car les moyens nous manquent pour le déterminer avec assez d'exactitude, pendant le peu de temps qu'elles paraissent ; et tout ce que l'on dit de leur distance, de leur origine, et de la route qu'elles tiennent après qu'elles sont devenues invisibles, est fort incertain et sujet à caution. Ainsi je ne comprends pas comment M. Newton a pû assurer, ou même conjecturer, bien loin de démontrer, qu'elles vont dans des orbites elliptiques extrêmement longues et qui approchent des courbes paraboliques ; quand et par quel chemin elles doivent revenir, après une absence de plusieurs années, et après avoir parcouru un chemin immense. » (p. 27).

(2) Faisant allusion par exemple à la manière dont, d'après Descartes, les corps divisés et agités se mettent à se mouvoir en rond : « Cela ne me regarde point, disait Hartsoeker (p. 29) et je n'en ai que faire. Je dirai plus, que je trouve ce sentiment de Descartes si absurde, qu'il ne mérite pas seulement qu'on le réfute. »

(3) Il avoue cependant que ces tourbillons « sont sujets à des difficultés insurmontables » (p. 21) ; mais « on voit manifestement qu'on ne peut soutenir en aucune façon le système de M. Newton, ni se passer des tourbillons qu'il a rejetés. » (p. 22).

ne ferait que suivre la terre, la terre l'attraperait en très peu de temps lorsqu'elle serait dans son dernier quartier, parce que la terre l'attirerait alors avec une force très grande, et s'avancerait outre cela vers elle par son mouvement rapide.

« Ajoutez à cela, continuait Hartsoeker (1), que la terre ne décrit pas un cercle, mais une espèce d'ellipse autour du soleil, et que la lune suit ce mouvement, et accompagne la terre partout ; ce qu'elle ne pourrait faire, si elle n'était pas dans un tourbillon de matière, qui appartient en quelque façon à la terre, et ne l'abandonne jamais, et que ce tourbillon ne l'entraînât partout.

« Dans un tel tourbillon de matière, la lune peut se mouvoir de même que s'il était en repos et qu'il ne tournât point autour du soleil, ce que l'expérience nous fait voir dans un bassin rempli d'eau, car quelque rapide que soit le mouvement de ce bassin, tout ce qui flotte dans cette eau n'y flotte pas autrement que si ce bassin était en plein repos pourvu que son mouvement soit uniforme, ou bien qu'il augmente ou diminue uniformément. »

25. — Dortous de Mairan, que nous avons vu déjà transposer par analogie du domaine de l'optique dans celui de l'acoustique une idée newtonienne, se trouva encore amené, par ses études sur la réflexion, à abandonner, malgre ses tendances cartésiennes, quelques conceptions de Descartes. Tandis que celui-ci, suivi sur ce point par Malebranche, ne jugeait pas la réflexion impossible indépendamment du ressort, de Mairan pensa au contraire pouvoir prouver « qu'il n'y a point de principe de réflexion là où il n'y a point de ressort » et que par conséquent « toute démonstration qui ne suppose pas le ressort sera insuffisante pour déterminer les propriétés de la réflexion, et ne pourra manquer de produire des idées confuses sur cette matière. » (2)

(1) *Op. cit.*, p. 3.

(2) *Recherches physico-mathématiques sur la réflexion des corps*, in *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1722, p. 40.

D'autre part, Descartes avait supposé que les couleurs étaient dues au différent tournoiement des globules de la lumière. Mais de Mairan, ayant démontré par ses calculs, que des sphères ayant un tournoiement différent et tombant obliquement sur un plan en y faisant le même angle se réfléchiraient sous des angles différents, en tira comme conclusion « que si la lumière consistait en des globules qui eussent différents degrés de mouvement sur leur centre en divers sens, et que ces différents degrés de mouvement sur le centre fussent la cause des différentes couleurs, on apercevrait dans la lumière différents degrés de réflexibilité (j'entends par ce terme une diversité dans les angles de réflexion, et non pas une plus grande ou moindre facilité à se réfléchir), comme on y aperçoit différents degrés de réfrangibilité. Un rayon sensible du soleil, qui tomberait obliquement, ou même perpendiculairement sur un miroir plan, deviendrait divergent à sa rencontre, en forme de cône renversé dont le sommet serait sur le point d'incidence : et lorsqu'on recevrait ce rayon ainsi réfléchi sur un carton blanc perpendiculairement à l'axe du cône, il y peindrait l'image du soleil et les couleurs primitives, par des zones ou anneaux concentriques plus ou moins écartés du centre et de l'axe, selon que le pirouettement propre à chaque couleur serait plus ou moins fort par rapport aux autres. Et si, au lieu de supposer le pirouettement des globules en divers sens, on les faisait tourner vers un même côté de l'Univers, par exemple d'orient en occident, le rayon réfléchi donnerait une image du soleil oblongue et colorée semblable à celle qui se fait à travers le prisme, qui sont tous effets contraires à l'expérience. » (1)

Non seulement toutes ces considérations apparaissent fortement imprégnées d'idées newtoniennes, mais c'était encore Newton que rejoignait de Mairan, quand, de la conformité des lois de réflexion de la lumière avec celles que devraient

(1) *Mémoires de l'Académie des sciences*, 1722, p. 59.

suivre dans les mêmes conditions des corps sphériques (1), il concluait « que le corps qui fait le sujet de la lumière, consiste en de véritables globules, comme on a coutume de l'imaginer », et précisait : « Cette indication doit avoir lieu surtout dans le système de *l'émission* des corpuscules, et n'est pas absolument sans force à l'égard de celui des *pressions*. Car il n'importe que le sentiment de la lumière, ou l'ébranlement de l'organe se fasse par le choc immédiat des parties qui viennent du corps lumineux jusqu'à nous, ou par les secousses et les vibrations que le corps lumineux communique à quelques fluide qui est entre lui et nous ; je dirai toujours des parties de ce fluide ce que je dirais des parties du corps lumineux même... Je supposerai cependant ici, pour répondre à une difficulté qu'on peut faire contre la réflexion uniforme de la lumière, et pour rendre la chose plus sensible, un mouvement actuel des globules lumineux dans la ligne de leur direction. » (2)

Bien plus, si c'était ainsi le système newtonien de l'émission qui se trouvait le plus conforme aux vues de Dortous de Mairan, et en même temps le plus apte à étayer la solution de la difficulté qui nous reste à examiner, c'était encore les expériences de Newton qu'invoquait de Mairan dans la solution même de cette difficulté. On pourrait objecter en effet qu'il n'y a pas dans la Nature de plan exactement poli, et que ceux qui le sont le plus en apparence ne sont en réalité, à l'égard des globules de lumière, qu'un tissu de rugosités, qu'une succession de saillies et de dépressions qui devraient rendre impossible l'uniformité de réflexion constatée en fait. De Mairan répondait « que la réflexion de la lumière ne se fait point par le contact immédiat des particules solides des corps qu'elle frappe, mais un peu avant que de les toucher, et par la rencontre d'un

(1) Cette analogie l'amenait à affirmer que « tout corps qui se réfléchira constamment par un angle égal à l'angle d'incidence devra être sphérique. » (*Op. cit.*, p. 65).

(2) *Op. cit.*, p. 66.

fluide subtil répandu dans leurs pores, et sur la superficie grossière et palpable qu'ils présentent aux sens. Plusieurs expériences (on peut mettre de ce nombre celles qu'on trouve dans *l'Optique*, de M. Newton, quoique cet illustre auteur explique, par leur moyen, la réflexion de la lumière un peu différemment de ce que je donne ici) le confirment, comme elles font voir aussi que les corps les plus solides ne contiennent qu'une très petite quantité de matière propre en comparaison des intervalles qui en séparent les parties, et du fluide qui remplit ces intervalles. Si cela est, voilà la figure sphérique qui reprend tous ses avantages. Car ce fluide subtil qui remplit les interstices des corps, qui se répand sur leur surface extérieure comme une petite atmosphère, et qui en remplit les vides et les fissures, comme une espèce de vernis délié, doit présenter à la lumière des plans infiniment plus unis que la surface propre du solide, et réfléchir uniformément une infinité de globules que les inégalités de cette surface n'auraient fait que dissiper çà et là. » (1)

Dortous de Mairan se proposait encore de faire voir « par les mêmes principes, que le différent degré de réfrangibilité qui résulterait du pirouettement des globules, n'est pas moins incompatible avec les phénomènes de la lumière dans la réfraction, que le différent degré de réflexibilité l'est avec ceux de la réflexion : tandis que le différent degré de vitesse rectiligne peut satisfaire également et à l'uniformité de la réflexion, à laquelle il ne change rien, et à la diversité de la réfraction, dont il peut être l'unique cause. » (2) Il ne devait réaliser tout à fait son projet que bien plus tard, mais, dès l'année suivante, il donna, dans une *Suite des recherches physico-mathématiques sur la réflexion des corps* (3), une série de remarques et de

(1) *Op. cit.*, p. 67-68.

(2) *Op. cit.*, p. 59-60. Il renvoyait d'ailleurs sur ce point à son exposé de la théorie de Newton dans sa *Dissertation sur la cause de la lumière des phosphores et des noctiluques*, 1715.

(3) *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1723, p. 489 et suiv.

calculs sur la réfraction, fort intéressants à bien des points de vue. Nous insisterons surtout ici sur la manière ingénieuse dont il s'efforçait d'établir solidement une idée cartésienne sur des considérations empruntées en partie à la physique newtonienne.

Après avoir rappelé la discussion soulevée entre Fermat et Descartes au sujet de la réfraction de la lumière (1), il concluait : « Après tout ce que les expériences et le raisonnement nous ont appris aujourd'hui sur la lumière et la diaphanéité, on peut dire que la possibilité alléguée par les disciples de M. Descartes sur la perméabilité des milieux denses par rapport à la lumière est devenue incontestable et très aisée à concevoir. Car, dès que les parties solides des corps ne sont plus la cause immédiate de la réfraction, et qu'il faut avoir recours à un fluide répandu dans leurs pores, la lumière rentre à cet égard dans le cas de tout autre mobile, qui se détourne de son chemin à la rencontre d'un nouveau milieu. Ses globules ont à traverser ce nouveau fluide, qui peut résister plus ou moins à leur mouvement, et être dit à leur égard plus ou moins dense, selon sa densité particulière, indépendamment de la densité totale de la matière dont il remplit les interstices. Dans ce sens étroit et exact, la densité du milieu et sa résistance par rapport à la lumière, sont univoques; mais, en général, et selon la commune manière d'entendre ces termes, ils peuvent être équivoques ; puisque l'expérience nous apprend que le rayon rompu s'approche d'autant plus de la perpendiculaire, ou, ce qui revient ici au même, trouve d'autant moins de résistance, que les corps transparents qu'elle pénètre sont plus pesants, plus solides et en total plus denses. Et il n'y a nulle induction à tirer de cette densité des corps contre la grandeur ou le nombre des pores dont ils sont semés et qui donnent passage à la lumière. Car outre que, dans les corps qui nous paraissent les plus solides, la quantité de matière propre est peut-être fort petite en comparaison des vides et des interstices

(1) Voir sur cette controverse notre ouvrage sur *Maupertuis*.

qu'elle y laisse, ces vides et ces interstices peuvent y être répandus et configurés de tant de manières, qu'on ne saurait s'assurer par là qu'un corps soit plus ou moins perméable à la lumière qu'un autre. C'est à la seule expérience à le décider.

« On peut même avancer, et M. Keill (*Introductio ad veram physicam*, sect. 5, théor. 2), l'a démontré, qu'il n'est pas impossible que les pores d'un corps, et le fluide qui remplit ces pores soient à très peu près en égale quantité dans des corps très inégaux en solidité, et tels, par exemple, que sous le même volume l'un contienne dix mille ou cent mille fois plus de matière propre que l'autre. Il n'est pas impossible par conséquent que les espaces vides ou remplis de matière subtile dans un pouce cubique de verre ou d'or soient presque aussi grands que les espaces vides remplis de matière subtile dans un pouce cubique d'air. D'ailleurs, entre tous les pores d'un corps il n'y a vraisemblablement que ceux d'une certaine grandeur, d'une certaine figure et d'une certaine continuité qui admettent le fluide réfringent, et qui laissent passer la lumière. Ainsi la quantité et la force du fluide réfringent dans le corps le plus solide et le plus dur peuvent l'emporter sur la quantité et la force du fluide réfringent dans le corps le plus leger et le plus rare. Mais la force de ce fluide pourrait encore se trouver plus grande ou plus petite, et agir plus ou moins sur la lumière, indépendamment de sa quantité, ou de la grandeur des pores du milieu. Que les milieux diaphanes les plus denses et les plus pesants soient donc ceux où la lumière se meut avec le plus de facilité et de vitesse, et où elle s'approche le plus de la perpendiculaire, c'est un fait dont nous pouvons ignorer la cause physique, et le détail, mais qui n'a rien en soi de contraire aux autres faits que nous savons sur la même matière, et qui ne puisse être réduit aux mêmes principes. » (1)

26. — Cependant, si, en optique, Dortous de Mairan se trou-

(1) *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1723, p. 531-533.

vait ainsi séduit par les idées de Newton, surtout à cause de la valeur expérimentale des travaux de ce savant (1), il n'en restait pas moins attaché au cartésianisme sur la plupart des questions fondamentales. Nous en trouvons la preuve dans le sens de son intervention dans le débat organisé autour des travaux de Carré par du Fay et Petit. Ces deux physiciens, après avoir repris les *Expériences sur les tuyaux capillaires* faites par Carré en 1705 (2), cherchaient à expliquer les phénomènes en question, et leurs hypothèses sur ce point (3) donnèrent à de Mairan l'idée de proposer lui aussi une conjecture sur la cause de l'abaissement du mercure. « Il conçoit, écrivait alors Fontenelle (4), avec un grand nombre de philosophes modernes, le magnétisme beaucoup plus étendu que l'on ne croit communément, et en effet, puisque le fer et l'aimant, et quelques corps électriques en fort petite quantité s'attirent et se repoussent, quelle apparence qu'ils soient les seuls corps dans la nature doués de cette propriété ? On n'en connaîtrait aucune autre qui fût si restreinte et si bornée. Elle peut bien n'être que rarement sensible, mais il faut qu'elle soit plus répandue, et comme alors elle sera insensible, elle produira des effets qu'on ne s'avisera pas d'y rapporter. M. de Mairan croit donc qu'autour de tous les corps, ou au moins de la plupart, il y a comme autour de l'aimant une atmosphère, un tourbillon de matière subtile qui circule dans leurs pores. Si elle se meut de la même

(1) Aussi suivit-il avec beaucoup d'attention la discussion soulevée par Rizzetti autour de la théorie newtonienne de la lumière. Après avoir adressé en 1722 ou 1723 une lettre à l'Académie des Sciences, RIZZETTI fit ensuite imprimer (*Acta Eruditorum*, 1724) cette pièce dans laquelle il apportait plusieurs objections contre la thèse de Newton. Les réponses de Richter furent publiées en même temps, dans le même journal.

(2) *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1705, p. 317.

(3) Pour celles de DU FAY, *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1724, p. 2 à 13. — *Nouvelle hypothèse par laquelle on explique l'élévation des liqueurs dans les tuyaux capillaires et l'abaissement du mercure dans les mêmes tuyaux* par PETIT, in *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1724, p. 134 et suiv.

(4) *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1724, p. 18.

manière dans les pores de deux corps différents, de sorte que des deux tourbillons il puisse ne s'en former qu'un, ces deux corps ou s'attirent de quelque distance, comme le fer et l'aimant, ce qui est sensible, ou, posés l'un contre l'autre, s'appliquent très immédiatement, ce qui n'est qu'un effet insensible. Dans le cas opposé, les deux corps ou se repoussent, ou ne s'appliquent pas. C'est par là que l'eau mouille le verre et que le mercure ne le mouille point. Il reste entre le mercure et le verre un espace où les deux tourbillons de ces deux matières se combattent.

« Cet espace, lorsqu'il y a du mercure dans un vaisseau, va en augmentant du bas vers le haut, parce qu'en bas la colonne de mercure plus haute et plus pesante se presse davantage contre les parois du vaisseau, et surmonte en partie l'opposition des tourbillons. De là il résulte, pour l'espace où les tourbillons se repoussent, une espèce de figure de coin, dont la pointe est en bas, et de là vient aussi la convexité de la surface supérieure du mercure, qui s'élève un peu vers son milieu, parce que vers ses bords elle est plus repoussée. Elle aura moins de convexité dans un tuyau d'un plus grand diamètre, et au contraire.

« Le fort du combat des tourbillons est dans l'espace angulaire que laisse vide la convexité du mercure. Cette convexité étant plus grande dans un tuyau capillaire, ce combat y occupe aussi un espace plus grand à proportion de la capacité du tuyau, et il peut occuper le tuyau entier. Il ne s'agit plus que de savoir pourquoi alors le mercure doit descendre au-dessous du niveau, car, la direction du cours de la matière subtile qui forme les deux tourbillons devant être conçue comme perpendiculaire aux parois du tuyau, il ne paraît pas qu'elle soit opposée à l'ascension naturelle du mercure. Mais M. de Mairan a fait voir que la surface du mercure étant fort convexe dans un tuyau capillaire, la direction de la matière subtile lui était inclinée, et qu'en la décomposant il se trouvait qu'elle n'agissait sur cette surface que par une perpendiculaire, qui la pous-

sait nécessairement en bas. On voit par là pourquoi une plus grande convexité de la surface du mercure, un moindre diamètre du tuyau et une plus grande descente du mercure sont trois choses toujours liées. »

Cette explication par la physique tourbillonnaire est d'autant plus caractéristique ici des préférences cartésiennes de Dortous de Mairan que, puisqu'il faisait appel à une sorte d'extension du magnétisme, il pouvait encore trouver là une occasion de se rallier, plus ou moins directement et explicitement, à la théorie de l'attraction. Fontenelle ne s'y trompait pas lorsqu'il terminait son compte rendu par l'expression d'une satisfaction mêlée de quelque appréhension : « Le magnétisme des corps expliquera sans doute un très grand nombre de phénomènes de la nature, pourvu qu'on ne l'explique lui-même que selon les lois de la simple impulsion, car si on y fait entrer quelque chose de plus mystérieux, il deviendra trop obscur pour rien expliquer. » (1)

27. — Les craintes de Fontenelle n'étaient d'ailleurs pas sans fondement, car il venait de paraître à Paris, sans nom d'auteur, un *Nouveau cours de chimie suivant les principes de Newton et de Stahl*, que le *Journal des Savants* attribua alors à Sénac (2).

« La disposition que plusieurs parties divisées ont à se réunir, expliquait l'auteur (3), s'appelle attraction dans les livres de M. le chevalier Newton ; ce terme choque les oreilles cartésiennes, mais je ne sais pourquoi : on ne s'en sert que pour marquer une cause inconnue qui rapproche les corps ; d'ailleurs le philosophe dont je parle se sert du terme d'impulsion,

(1) *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1724, p. 20.

(2) *Journal des Savants*, 1724, p. 30. Le *Nouveau cours de Chimie* parut en 1723. L'influence de Newton et de Stahl sur la chimie du XVIII[e] siècle vient de faire l'objet d'une étude très documentée et fort intéressante de M[me] Hélène METZGER : *Newton, Stahl, Boerhaave et la doctrine chimique*, 1 vol. in-8. Paris, Alcan, 1930.

(3) *Op. cit.*, p. 74.

et dit même que cela est plus exact : comme on parle diversement là-dessus, qu'on me permette d'y faire quelques réflexions.

« Dans quelque système que ce soit, il faut avoir recours à un premier moteur : M. Descartes a établi le mouvement circulaire imprimé à la matière pour le principe de toutes choses; de là il fait naître les astres, les plantes, les animaux même; plein d'un esprit géométrique, ce génie fécond a cherché dans un seul principe l'origine de cet enchaînement de phénomènes que la matière présente à nos yeux.

« M. Newton voyant les difficultés de cette philosophie a cherché un autre principe, ou, pour parler plus exactement, au lieu d'appliquer la puissance motrice à mouvoir la matière circulairement, il l'occupe à pousser les corps les uns contre les autres, et de ce principe il déduit tout ce qui se passe dans la nature : ceux qui ont attribué à ce grand homme les qualités occultes, auraient dû envisager son principe de ce côté, et ils l'auraient trouvé au moins aussi raisonnable que celui de Descartes.

« Mais M. Newton va encore plus loin; il croit ou il veut bien qu'on suppose que l'attraction est une impulsion, mais en même temps il nous dit que la manière dont elle se fait nous est parfaitement inconnue, en voyant même que les corps pèsent suivant leur masse solide, et non pas suivant leur surface : il insinue que la raison serait presque tentée de croire qu'aucune impulsion n'est capable de produire la pesanteur ; ce qu'on peut assurer, c'est que, si les corps sont poussés par une autre matière vers un centre, ils sont poussés de même qu'un liège vers la surface de l'eau, et c'est ce qui ne convient à aucun des systèmes inventés jusqu'ici.

« Si M. Newton dit qu'il n'est pas content de la philosophie cartésienne, on ne doit pas en être surpris : il ne dit rien en cela que ne disent tous ceux qui ont examiné ; il n'y en a pas un seul qui voulût assurer la vérité aux tourbillons, au mouvement de fluidité, et aux autres hypothèses de Descartes :

lui-même sans doute n'était pas si aveuglé par la tendresse qu'il avait pour ses productions physiques, qu'il ne reconnût que ce qu'il avançait ne pouvait tout au plus s'appeler que possibilité.

« Quoi qu'il en soit, il est certain qu'il y a dans la nature un magnétisme qui rapproche les corps ou leurs parties, c'est à cette force attractive qu'il faut attribuer la plupart des phénomènes qui surprennent le plus dans la composition ou la décomposition des corps. »

Et après avoir apporté de nombreux exemples, l'auteur, en se proposant de rechercher la cause de ce magnétisme des corps, estimait qu'on n'avait quelque chance d'y parvenir qu'en s'appuyant sur des analogies, en examinant « les forces attractrices qui agissent dans la nature. » Celle qui se présentait pour ainsi dire d'elle-même et avant toute autre était assurément la pesanteur. Or, la critique de la théorie cartésienne, et des théories inspirées plus ou moins directement du cartésianisme, l'amenait à considérer les même insuffisances de ces explications appliquées aux phénomènes de la cohésion et du magnétisme. « De tout ce que je viens de dire, concluait-il (1), il s'ensuit qu'il est presque impossible de découvrir la cause du magnétisme des corps ; tout ce que nous pourrons faire, c'est de découvrir les lois suivant lesquelles il agit. N. Newton a travaillé là-dessus : il est le premier qui a expliqué la physique et la chimie même par le magnétisme. »

Et tout le reste de cette partie de l'ouvrage consacrée aux « opérations de chimie en général » n'était plus guère qu'une série de références aux principes de Newton, dans lesquelles l'attraction intervenait constamment à titre d'explication. « Il vaut mieux se taire, affirmait-il (2) comme conclusion de toute la première partie, que de faire des raisonnements fondés sur de simples conjectures ; ce n'est pas la science des possibles qu'on doit chercher, il n'y a que la réalité qui doive

(1) *Op. cit.*, p. 125.
(2) *Op. cit.*, p. 246.

appuyer nos jugements ; souvenons-nous toujours du précepte d'un des plus grands génies que l'Angleterre ait produit : *Non fingendum aut excogitandum, sed inveniendum quid natura faciat aut ferat.* »

Bien plus encore que cet ouvrage, ceux des physiciens hollandais apportèrent alors une recrudescence de vitalité et de force d'expansion au newtonianisme. Ce n'était plus seulement 'sGravesande, qui faisait paraître un abrégé de son cours (1) et peu de temps après prononçait son fameux *Discours sur l'évidence* (2), mais aussi Pierre van Musschenbroek, qui inaugura, en 1723, son enseignement à l'Université d'Utrecht par un discours tout imprégné de l'influence newtonienne (3).

Certes, le caractère même de ces divers ouvrages ne pouvait manquer d'en limiter l'influence ; mais ils n'en constituaient pas moins une contribution bien propre à corroborer l'orientation de plus en plus nette de l'intérêt vers les doctrines de Newton ; d'autant plus qu'à cette époque les savants français avaient déjà commencé à tourner leurs regards vers les professeurs des Universités de Hollande.

28. — Aussi ne devons-nous pas nous étonner de voir les cartésiens saisir toutes les occasions de s'attaquer aux idées de Newton et faire tous leurs efforts pour lever les difficultés suscitées par les explications cartésiennes. Le P. Castel vint fournir une de ces occasions, en 1724, avec son nouveau système sur la pesanteur universelle (4).

Que l'auteur ne soit pas, dans toute l'acception du terme, un cartésien, on n'en saurait douter en présence de ses violentes critiques à l'adresse de ceux qu'il appelle les « cartésiens

(1) *Philosophiae newtonianae institutiones in usus Academicos*, 1 vol. in-12, Leyde, 1723.

(2) En quittant la charge de Recteur en 1724.

(3) *De certa methodo philosophiae experimentalis.*

(4) *Traité de physique sur la pesanteur universelle des corps*, 2 vol. in-12, Paris 1724.

rigides ». En effet, les disciples de Descartes « ont pris les hypothèses, mais il ne leur a pas été si facile d'atteindre aux faits, sur quoi elles étaient appuyées dans l'esprit de leur auteur, bien plus que dans ses écrits ; de sorte que le plus souvent ces hypothèses n'ont été en effet pour eux que de pures hypothèses, et toute la physique est peu à peu devenue un recueil de suppositions arbitraires. Comme il n'était question que de supposer, et qu'il suffit pour cela d'avoir de l'imagination, on a imaginé amplement, et supposé de même. Tout ce qui a paru possible dans la métaphysique, on l'a introduit dans la physique à l'aide de la supposition ; on en est venu jusqu'à s'embarrasser peu qu'une chose fût vraie ou fausse sous prétexte qu'on n'affirmait rien, mais qu'on supposait. » (1)

Mais, derrière les exagérations du cartésianisme, le P. Castel ne se refusait nullement à aller chercher les idées fécondes ; et c'est ainsi qu'il retenait avec attention la notion de tourbillons, à l'existence desquels il rattachait même toute sa propre théorie. Mais la conception strictement cartésienne des tourbillons lui paraissait exiger des transformations. « Les tourbillons de Descartes avaient, remarquait-il (2), un défaut essentiel, que je ne vois pas que ses disciples aient assez senti, car ils y auraient remédié ; non plus que ses adversaires, car ils l'auraient reproché à ses disciples. Ce défaut est celui d'une trop parfaite homogénéité ou uniformité dans ces tourbillons :

(1) *Op. cit.*, II, p. 396. Même chez les cartésiens moins rigides, il trouvait une certaine maladresse à transformer le cartésianisme. C'est ainsi que, tout en décernant à Villemot des éloges, il lui reprochait de n'avoir éliminé qu'en apparence certaines difficultés. « Il réfute Descartes, disait-il (II, p. 477), parce que le tourbillonnement, dans le système de ce philosophe, ne saurait amener les corps que perpendiculairement à l'axe. Mais, après l'avoir réfuté, il prend un détour pour retomber dans son système. Le tourbillonnement produit, selon lui, le bouillonnement et le bouillonnement produit la chute ; c'est-à-dire que, selon Descartes, la chute est produite immédiatement, et selon M. Villemot, médiatement, par le tourbillonnement ; cela ne racommode rien ; la chute excentrique est un défaut original et primitif du tourbillonnement. »

(2) *Op. cit.*, II, p. 420.

ils sont tous d'une matière infiniment subtile, et tout au plus mêlée d'une matière globuleuse, la même à peu près dans les uns que dans les autres.

« Or, j'ose le dire, rien n'est plus contraire au système de la pesanteur, ni même à celui des tourbillons, que cette uniformité ; et c'est par là que le système de Descartes m'a toujours paru d'un faible, et d'une fragilité peu digne d'un génie aussi solide que le sien, et tout à fait indigne de la nature. »

Mais, à condition de ne pas retomber dans de pareils errements, c'était bien aux tourbillons qu'il semblait nécessaire au P. Castel de s'adresser pour constituer un système solide sur la pesanteur universelle. Car, si Newton a eu le grand mérite et l'incontestable supériorité de découvrir la pesanteur universelle des corps, il s'est imaginé à tort, selon le P. Castel, que le vide existait. Or, « ce point-là n'est nullement indifférent ; car la question du vide est fondamentale dans la physique ; et le système général doit se sentir du parti que l'on prend en ce point : de sorte que j'ai été assez souvent surpris de voir des philosophes d'ailleurs profonds, qui comme Huygens voulaient allier le cartésianisme avec le newtonianisme, le vide avec la matière subtile et l'attraction avec l'impulsion.

« Mais il m'a paru aussi surprenant que M. Newton même pensât allier le vide avec le système d'une pesanteur universelle : on voit bien qu'il n'a jamais tenté de remonter à la cause, et qu'il s'est borné à l'existence ; pour peu qu'il eût voulu pénétrer dans le système insensible, il eût trouvé le mécanisme en défaut dans le sein du vide ; et il eût été forcé d'introduire dans la physique les attractions qu'il tâche de borner à la mathématique, car comment des corps investis de vide peuvent-ils s'attirer mécaniquement? » (1).

Certes cette objection s'appuyait sur une conception de la physique bien différente de celle de Newton, et d'ailleurs fort

(1) *Op. cit.*, II, p. 459-460.

contestable ; mais le P. Castel prétendait de plus trouver Newton en défaut même sur le propre terrain sur lequel celui-ci avait entendu seulement se placer. « Je doute même, continuait-il (1), que le système sensible de la pesanteur s'allie bien avec le vide. Un corps comme le soleil, par exemple, placé au centre de son tourbillon, et pesant vers toutes ses planètes par réaction devrait se porter vers ces planètes ou du moins vers celles qui l'attireraient le plus ; surtout si la plupart se trouvaient placées d'un même côté. C'était ce que craignait Képler, et, quoique, en s'élevant au-dessus de cette crainte, M. Newton ait rendu plus universel le système de la réaction, il n'a pas laissé par là même de nuire à ce système : je m'explique.

« Ce n'est point après tout une véritable réaction que M. Newton a admise ici : la véritable réaction, propre de la pesanteur, se fait en tous sens du centre vers tous les points de la circonférence, ou de la surface, ou en général de l'Univers. Or le soleil ne peut point se porter tout entier vers tous les points de l'Univers par un mouvement de translation; et ce ne peut être qu'en se gonflant en quelque sorte et en se mettant en pièces, ce qui n'est pas possible dans le système du plein, et devrait arriver dans celui du vide.

« Il est vrai que M. Newton y a pourvu en donnant au soleil vers les planètes la même tendance directe qu'il donne aux planètes vers le soleil ; car, selon lui, le soleil n'est point au centre ; et nulle planète et peut-être nulle matière n'est au centre, et le centre est un point imaginaire et vide, qui, je veux croire, termine les tendances des planètes, mais ne saurait au moins avoir sur elles, ni transmettre même de l'une à l'autre, aucune réaction bien réelle. Il y a bien des choses à dire sur cette excentricité totale des planètes, et sur le mouvement à quoi le savant auteur les livre toutes, sans aucun point réellement fixe. »

(1) *Op. cit.*, II, p. 460.

Après avoir consacré tout un long chapitre (divisé en 9 paragraphes) à une discussion des principales thèses de Newton : « Voilà, concluait-il (1), une partie des difficultés que l'on peut faire contre ce système, que je regarde comme sublime du côté de la géométrie, mais auquel le défaut naturel, et inséparable du vide, des attractions et de tout ce qu'on appelle les qualités, n'a pas laissé de se communiquer un peu. Il fallait un génie de la force et de la profondeur du célèbre auteur, pour donner dans un siècle comme le nôtre, une ombre, une couleur de vérité à un système si justement décrié ; et pour le mettre dans un point de vue capable d'éblouir tout un peuple de sectateurs, dont l'esprit et le savoir marchent de pair avec le goût, et l'application qu'il a pour la perfection des arts, et des sciences, et surtout des sciences physico-mathématiques.

« Car il faut l'avouer, nous n'avons rien, surtout en fait de géométrie, qui surpasse ce qui nous vient d'Angleterre dans ce genre. Quoi de plus sublime par exemple, après les ouvrages de M. Newton, que le petit volume de M. Stirling sur les courbes du troisième ordre ? Ce livre n'a point de corps, il est tout esprit, tout génie : c'est presque un autre Newton. Quoi de plus profond que l'ouvrage de M. Taylor sur la méthode tant inverse que directe des fluxions : je ne dis rien d'une infinité d'autres ouvrages semblables, qui nous feraient presque penser, que surtout depuis M. Newton, on naît géomètre en Angleterre.

« J'ajoute ceci pour faire voir que je suis bien éloigné de cet esprit de critique, qui saisissant jusqu'au cœur, ferme les yeux à ce qu'ont de meilleur ceux qui en sont l'objet ; et pour faire éclater en même temps l'estime singulière que je fais de M. Newton et de ses célèbres compatriotes. Si dans quelques endroits de cet ouvrage, et en particulier de ce chapitre, je paraissais malgré moi avoir d'autres sentiments, je

(1) *Op. cit.*, II, p. 542. Cette conclusion servait en même temps de conclusion générale à tout le second tome consacré à l'examen des diverses théories.

ferai toujours gloire de les désavouer, parce qu'en effet ce ne sont pas mes sentiments propres, naturels et ordinaires. »

Si de tels passages apparaissent bien actuellement de nature à nous renseigner sur l'atmosphère intellectuelle générale de l'époque, ils nous montrent le P. Castel soucieux de se conserver un renom d'impartialité, en même temps que d'attaquer sous cette garantie avec toute la vivacité possible les opinions scientifiques de Newton. Et, comme cette opposition ne pouvait que profiter au cartésianisme, non seulement le P. Castel devait se trouver satisfait à cause de ses préférences cartésiennes, mais les autres cartésiens étaient par là même invités à insister sur tout ce qui pouvait constituer des arguments en faveur de leurs idées. Ce fut en effet leur attitude la plus générale dans les appréciations diverses qu'ils portèrent sur le *Traité* du P. Castel. Leurs critiques ne furent guère dirigées que sur les opinions personnelles et tout à fait originales de l'auteur, sans toucher à tout ce qui portait chez lui quelque empreinte cartésienne (1).

29. — La comète de 1723, et la comparaison qu'en firent bien vite Cassini et Maraldi avec celle de 1707, en donnant une vraisemblance de plus en plus grande au retour des comètes et à leur assimiliation aux planètes au point de vue de leur marche, ramenaient en vive lumière le problème du système du monde.

Maraldi, essayant d'interpréter les analogies de position et de mouvement de ces deux comètes en vue de contrôler s'il n'y avait pas là deux retours d'une même comète (2), ren-

(1) A partir de cette époque et pendant bien des années, le *Journal de Trévoux* se trouva le centre des polémiques sur cette question. La plupart des objections contre le *Traité de la pesanteur* y furent insérées avec les réponses du P. Castel. En raison de la direction prise par la discussion, nous risquerions, en la suivant de près, de nous laisser entraîner hors du cadre de ce travail.

(2) *Observations et réflexions sur la comète qui a paru au mois d'octobre* 1723 in *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1723, p. 360.

contra des difficultés résultant surtout d'une différence dans l'inclinaison de l'orbite. Mais, comme il calculait dans l'hypothèse que les comètes, suivant l'opinion de Cassini, décrivent des cercles fort excentriques à la terre, Jacques Cassini eut l'idée de rectifier la méthode de calcul et la théorie de son père, en supposant que les comètes décrivent, ainsi que les planètes, leurs orbites autour du soleil.

« Entre les planètes, remarquait-il (1), il y en a qui tournent immédiatement autour du soleil, qui sont considérées comme les principales, et d'autres qui font leurs révolutions autour d'une planète, telles que la lune autour de la terre et les satellites autour de Jupiter et de Saturne.

« A l'égard des comètes, il est aisé de reconnaître que la plupart d'elles ne font pas leurs révolutions autour de la terre. Les stations, directions et rétrogradations que l'on a souvent observées dans leur cours en sont une preuve évidente. Car les mouvements des corps célestes peuvent bien se ralentir à l'égard de celui autour duquel ils font leur mouvement à mesure qu'ils s'en éloignent, et augmenter de vitesse en s'en approchant, mais on ne peut jamais supposer qu'ils se puissent anéantir pendant un certain temps et reprendre ensuite une direction opposée. On peut aussi se persuader que les comètes ne font point leur révolution autour d'une autre planète, parce qu'elles auraient, de même que les satellites, un mouvement composé de celui de la comète autour de sa planète et de celui de cette planète autour du soleil, ce que l'on n'aperçoit point dans leur cours.

« On peut donc conclure avec beaucoup de vraisemblance que les comètes font leur révolution autour de soleil ou de quelque étoile fixe. A l'égard des étoiles fixes, quoiqu'on puisse supposer qu'elles ont chacune autour d'elles des planètes, que leur peu de lumière ou leur trop grande distance

(1) *Sur la théorie du mouvement des comètes, comparée aux observations des années* 1707 et 1723 in *Mémoires de l'Académie des Sciences* 1725, p. 250.

nous rend imperceptibles, et qu'elles ont chacune, de même que le soleil, un tourbillon qui leur est particulier ; il y a tout lieu de croire que leurs planètes, si elles existent, sont renfermées dans l'étendue de ce tourbillon, sans s'en écarter et pénétrer pour ainsi dire dans le nôtre. Car comment pourraient-elles y conserver le mouvement qu'elles ont reçu de leur tourbillon, sans participer à celui que le nôtre leur imprimerait, ce qui pourrait altérer leur mouvement, l'anéantir, ou du moins en changer la direction, et les empêcherait de rentrer dans leur propre tourbillon ?

« Il y a donc tout lieu de supposer que les comètes sont dans l'ordre des planètes et qu'elles font, de même qu'elles, leurs révolutions autour du soleil. »

Indépendamment de la solution qu'apportait cette doctrine aux difficultés qui l'avaient suscitée (1), elle donnait une nouvelle vraisemblance à l'idée des révolutions cométaires (2) et pouvait conduire à l'adoption de la théorie de Newton.

Cependant le passage cité, par son insistance à faire allu-

(1) « Suivant cette hypothèse, il n'est pas nécessaire, pour que les comètes puissent être censées les mêmes, qu'elles paraissent avoir des mouvements égaux, couper l'écliptique aux mêmes degrés et avec une pareille inclinaison en passant par les mêmes régions du ciel. Cela ne doit arriver que lorsque l'on observe ces apparences dans les mêmes jours de l'année. Car la révolution du soleil autour de la terre, ou de la terre autour du soleil, fait varier continuellement le cours apparent des astres qui se meuvent le plus régulièrement autour du soleil ; de sorte qu'il peut arriver qu'une comète paraisse en des régions du ciel presque opposées à celles où a paru une autre comète, que son mouvement ait des degrés de vitesse fort différents ; que cependant ce soit la même comète qui soit retournée au même endroit du ciel, avec la même quantité de mouvement, et dont l'orbe ait une pareille inclinaison à l'écliptique. » (*Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1725, p. 252).

(2) « L'hypothèse du retour des comètes, remarquait Fontenelle (*Histoire de l'Académie des Sciences*, 1725, p. 84), demande qu'on les traite de planètes, d'astres dont les mouvements se rapportent au soleil, en sorte qu'il en soit le centre, ou, pour parler plus exactement, le foyer, comme il l'est des mouvements de toutes les planètes comprises dans notre tourbillon, ou dans le système solaire. Si les comètes ne sont pas de cet ordre, il n'est pas impossible qu'elles aient encore des retours, mais il sera très difficile à l'astronomie de s'en assurer. »

sion aux tourbillons, nous permet bien de supposer que Jacques Cassini ne tendait aucunement à se séparer de Descartes sur ce point. Pourtant reparaissait, avec une acuité nouvelle dans cette théorie, la difficulté d'accorder avec le système tourbillonnaire l'existence des comètes rétrogrades. Mais « cette difficulté sera entièrement levée et les comètes seront bien mieux planètes, si, selon la pensée de M. Cassini, elles ne se meuvent que d'occident en orient, quoiqu'on les voie se mouvoir selon toutes les directions opposées. Les planètes ont bien aussi un mouvement d'orient en occident, on les appelle alors *rétrogrades* et il est certain que cette rétrogradation n'est qu'une apparence causée par une certaine combinaison du mouvement de la terre avec celui de la planète. De plus, quand les planètes sont *stationnaires*, ce qui arrive entre une direction et une rétrogradation, ou une rétrogradation et une direction, elles ont aussi un mouvement apparent du septentrion au midi et du midi au septentrion. Cela arrive toujours par leur mouvement réel en latitude lorsqu'il est assez sensible. Car alors la position et le mouvement de la terre à leur égard étant tels qu'ils leur ôtent toute apparence de mouvement en longitude, puisqu'elles sont stationnaires, leur mouvement en latitude qui les porte réellement au septentrion ou au midi de l'écliptique, et dont l'apparence n'est nullement détruite, les fait voir nécessairement comme allant du midi au septentrion ou du septentrion au midi, et cela dans une étendue d'autant plus grande qu'elles peuvent avoir plus de latitude, et que leur station est plus longue. Il est donc possible que des comètes qu'on voit aller d'orient en occident soient des planètes telles que les autres, mais rétrogrades en ces temps-là, et que celles qu'on voit aller du midi au septentrion, ou du septentrion au midi soient des planètes stationnaires. Comme on ne voit qu'une très petite partie de leur cours, elle ne doit pas faire juger du cours entier. » (1)

(1) *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1725, p. 85-86.

Pourtant, après avoir fait ainsi de la rétrogradation une apparence et écarté de cette manière l'objection tirée contre les tourbillons de l'existence même de comètes rétrogrades, Cassini apportait des réserves à sa thèse, en indiquant qu'il ne prétendait pas malgré tout assurer que toutes les comètes apeçues jusqu'alors aient fait leur révolution à l'égard du soleil dans le même sens.

Dès lors l'explication de Cassini risquait fort par ce manque de généralité de laisser parfois dans l'embarras. D'ailleurs Dortous de Mairan y trouvait « quelque chose de forcé, nous apprend Fontenelle (1) et de peu conforme à l'analogie des planètes, qui le sont incontestablement. Les orbites de ces planètes les plus excentriques au soleil, telles que celles de Mercure et de Mars, ne le seraient presque pas en comparaison de celles des comètes qui doivent par leur prodigieux éloignement du soleil nous être invisibles pendant la plus grande partie de leur cours, et de beaucoup la plus grande. »

Bien que cette dernière objection s'adressât aussi bien à la thèse newtonienne, les avantages de cette dernière ne pouvaient manquer d'apparaître dans sa simplicité et sa généralité. Mais Fontenelle, d'accord en cela avec de Mairan, ne dissimulait pas sa répugnance en présence du vide qu'elle obligerait à admettre ; car « faire mouvoir dans un vide tous les corps célestes pour se débarrasser de la difficulté des mouvements des comètes, c'est un expédient sujet lui-même à de terribles difficultés. L'Univers n'est presque plus qu'un vide général. » (2)

30. — Aussi, pour conserver les tourbillons et le plein, sans donner prise à l'objection tirée du mouvement rétrograde de certaines comètes, Dortous de Mairan eut-il l'idée de reprendre l'explication proposée en 1707 par Villemot dans son

(1) *Op. cit.*, p. 96.
(2) *Op. cit.*, p. 97.

Nouveau système. Nous avons vu comment les cartésiens eux-mêmes avaient dû reconnaître l'insuffisance de cette explication et l'impossibilité de soutenir que les comètes ne descendent jamais au-dessous de Saturne. Mais, tandis que Villemot considérait cette condition comme nécessaire pour que les comètes n'entrent pas dans notre tourbillon, (et c'était là le point important à établir), de Mairan imagina de rendre indépendantes les deux questions par une ingénieuse hypothèse. S'il est constant que les comètes sont quelquefois moins élevées que nos planètes supérieures « il faut donc que, si elles ne sont pas entrées dans notre tourbillon, elles se soient pourtant approchées de nous jusqu'à cette distance sans y entrer ; et pour cela il est nécessaire que ce tourbillon ne soit pas de figure sphérique, mais enfoncé par les tourbillons voisins en certains endroits, autant que le demande la proximité des comètes.

« Cela est plus que vraisemblable dans le système des tourbillons, qui doivent agir mutuellement les uns sur les autres, se presser, se donner des figures irrégulières, s'engrainer entre eux comme les roues d'une horloge. Ils ont et par eux-mêmes et encore plus par cet engrainement, des mouvements d'une direction particulière; le mouvement général du nôtre est d'occident en orient, celui de quelque autre sera d'orient en occident ou du midi au septentrion, etc. Enfin on peut imaginer pour ces autres tourbillons toutes les directions possibles, sans même en exclure celle d'occident en orient, qui peut être répétée plusieurs fois.

« Toutes nos planètes se meuvent dans des plans peu éloignés de celui de l'Ecliptique, de sorte que tous ces plans ensemble forment une zone assez étroite. C'est dans cette zone que toutes les planètes ont été chassées par l'action des tourbillons environnants, et par conséquent c'est là l'endroit où le mouvement général du tourbillon s'exerce avec le plus de liberté, et, ce qui revient au même, le tourbillon moins pressé en ce sens-là l'est davantage du sens opposé, ou enfin le tour-

billon est plus aplati selon la direction d'une ligne perpendiculaire à la zone planétaire, le petit diamètre du tourbillon est en ce sens-là et le grand est à peu près dans le plan de l'Ecliptique.

« Autant que notre tourbillon est aplati, autant des planètes de tourbillons voisins peuvent s'approcher du nôtre sans sortir du leur, et ce sont là les comètes, selon la conjecture de M. de Mairan (1). On voit assez qu'elles ne sont nullement assujetties à notre mouvement d'occident en orient, mais qu'elles peuvent l'avoir par elles-mêmes, et qu'en général elles conserveront sans altération celui qu'elles ont naturellement.

« Dans ce système, toutes les comètes étant des planètes de tourbillons voisins, qui se meuvent chacune autour de son soleil, en décrivant, ainsi qu'il est vraisemblable, des ellipses, les plans de toutes leurs orbites sont nécessairement dans toute leur étendue posés loin hors du plan de la nôtre ; et de plus il n'y a qu'une certaine partie de ces orbites ou ellipses, convexe par rapport à nous, dans laquelle les comètes nous soient visibles. »

Or ces deux conséquences d'après de Mairan s'accordaient fort bien avec les observations qui ont montré d'une part que le plan de l'orbite de certaines comètes était posé absolument hors du plan de la nôtre, et d'autre part qu'il y avait parfois une grande différence entre la vitesse d'une comète au périgée et la vitesse en deça ou au delà de ce point (fait en relation étroite avec la supposition que cet astre parcourait alors l'extrémité convexe d'une ellipse seule accessible à notre vue) (2).

Non seulement cette théorie paraissait à Dortous de Mairan susceptible de fonder une conjecture sur la formation des

(1) Cet exposé est dû en effet à Fontenelle (*Histoire de l'Académie des Sciences*, 1725, p. 97-98).

(2) Pourtant cette théorie ingénieuse ne devait pas tarder à se montrer contraire aux observations indiquant que les comètes traversaient l'écliptique.

queues des comètes (1), mais elle l'amenait à pousser plus loin ses conclusions, en les étendant jusqu'aux variations d'éclat manifestées par certaines étoiles.

En effet « si l'on imagine que le plan de l'ellipse au lieu d'être fort incliné au rayon visuel, le soit infiniment, ou passe par l'œil, si de plus on suppose que l'ellipse soit extrêmement allongée, et que son grand axe soit dirigé à notre œil, en ce cas l'ellipse peut ne nous paraître qu'une ligne droite, la comète qui la décrit est toujours rapportée au même point du ciel, ou est vue immobile, seulement elle paraît plus grande à mesure qu'elle s'approche réellement de nous, ou plus petite à mesure qu'elle s'en éloigne. C'est la même apparence que si elle décrivait en s'approchant de nous une ligne droite qui passât par notre œil, et ensuite la même droite en rétrogradant. » (2)

Et par analogie, les étoiles variables pourraient bien n'être dès lors que des comètes prises pour des étoiles fixes, à cause de leur immobilité apparente.

Il est facile de supposer avec quelle complaisance Fontenelle se prêtait à résumer ces idées de Dortous de Mairan; mais cet empressement à ne manquer aucune occasion de mettre en valeur le cartésianisme devait se traduire encore, la même année, dans l'éloge qu'il eut à faire de Hartsoeker. Après avoir rappelé l'idée essentielle du *Recueil de plusieurs pièces de physique*, il continuait en parlant de l'auteur : « Sans user de petits ménagements peu philosophiques, il entre en lice avec courage et se déclare nettement contre ces grands espaces vides où se meuvent les planètes, obligées à décrire des courbes par des gravitations ou attractions mutuelles. Il y trouve des inconvénients qu'il ne peut digérer, et quoiqu'il ne soit rien moins que cartésien, il aime mieux ramener les tourbillons

(1) Ce phénomène pourrait être dû, en effet, à un certain éparpillement des rayons lumineux, produit par leur passage à travers un espace où deux tourbillons se choquent par des mouvements contraires.

(2) *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1725, p. 100.

de Descartes. L'idée en est effectivement très naturelle, et de plus les mouvements de toutes les planètes tant principales que subalternes dirigés en même sens, mais principalement le rapport invariable de toutes les distances à toutes les révolutions, indiquent assez fortement que tous les corps célestes qui composent le système solaire sont assujettis à suivre le cours d'un même fluide. » (1)

31. — Les résultats du concours de l'année suivante vinrent montrer combien les explications cartésiennes conservaient encore de partisans au sein de l'Académie des Sciences aussi bien qu'en dehors d'elle. La question posée portait sur le choc des corps à ressort. Ce problème qui avait déjà fait l'objet d'une communication de Carré en 1706 (2) avait été envisagé de nouveau par Saulmon en 1721 (3).

Après avoir établi une formule générale, Saulmon avait, en passant à l'explication de la cause physique de ressort, placé la question nettement sur le terrain du cartésianisme : car « si l'on veut que les deux corps après le choc et l'aplatissement mutuel reprennent leur première figure, il faut nécessairement avoir recours à une force nouvelle, capable de cet effet, et qui leur sera étrangère, puisque tout ce qu'ils avaient de force est épuisé. Il faut qu'un fluide s'introduise dans leurs parties comprimées et rapprochées, les écarte de nouveau et leur rende leur première disposition. Ils n'étaient donc pas dans le vide, et, s'ils n'y étaient pas, leurs pores étaient pleins avant le choc, et l'aplatissement en avait fait sortir une quan-

(1) *Eloge de Hartsoeker*, in *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1725, p. 203.

(2) *Des lois du mouvement*, in *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1706, p. 573 et suiv.

(3) *Du choc des corps dont le ressort est parfait*, in *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1721, p. 165 et suiv. Le même auteur revint en 1723 sur la question pour compléter sa théorie par des remarques sur le choc des corps à ressort imparfait (FONTENELLE : *Sur le choc des corps à ressort*, in *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1723, p. 139 et suiv.)

tité de fluide égale à celle qui rentre, quand la figure se restitue. » (1)

Non seulement il y avait là une application de la théorie cartésienne de la matière subtile, mais cette explication permettait même de maintenir, non plus cette fois contre Newton, mais contre Leibniz, le principe cartésien de la conservation du mouvement, sans avoir recours à la modification apportée à ce principe par Malebranche et ses disciples (2). En effet, « quand deux corps à ressort égaux en force se choquent avec des directions opposées, toute leur force ou quantité de mouvement qui est entièrement éteinte et anéantie en eux après leur aplatissement commun, a passé dans la matière subtile que le choc a exprimée de leurs pores, par conséquent, quoiqu'ils demeurent en repos dans cet instant, il existe encore dans la Nature autant de quantité de mouvement qu'il en existait; ensuite la matière subtile en rentrant dans leurs pores leur rend tout le mouvement qu'elle avait reçu d'eux, ou tout ce qu'ils en avaient auparavant et enfin la même quantité de mouvement subsiste avant et après le choc. » (3)

Dans le mémoire qu'envoya Bernoulli pour prendre part au concours (4) et qui ne fut d'ailleurs pas couronné, mais seulement cité avec éloge, l'auteur commençait par reconnaître l'insuffisance d'un recours à la matière subtile pour expliquer la cause du ressort. En effet, si l'on peut en général attribuer ce ressort à un mouvement de la matière, encore est-il nécessaire de préciser la nature de ce mouvement. Comment agit cette matière subtile qui, en coulant dans les pores des corps à ressort, leur donne ainsi la faculté de se compri-

(1) *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1721, p. 115.

(2) Sur ces divers principes, ainsi que sur la question connexe des forces vives, voir notre ouvrage sur *Maupertuis : L'œuvre et sa place dans la pensée scientifique et philosophique du* XVIIIe *siècle*. Blanchard 1929.

(3) *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1721, p. 117.

(4) *Discours sur les lois de la communication du mouvement*, 1 vol. in-4°, Paris, 1727.

mer et de se dilater alternativement ? Supposer que la matière subtile qui est sortie d'un corps élastique comprimé par quelque force extérieure y rentre dès que cesse l'action de cette force, ne serait une explication claire que si l'on faisait comprendre en même temps pourquoi la matière subtile d'abord chassée des pores d'un corps tend à reprendre sa place antérieure. Or les diverses explications proposées sur ce point ne paraissaient guère à Bernoulli être en accord avec les principes de la mécanique. Aussi, après en avoir fait un examen critique : « Si quelques physiciens, continuait-il (1), font consister la cause du ressort dans l'effort d'un fluide imperceptible, qui, se mouvant avec rapidité dans les pores des corps élastiques, tâche continuellement à se dilater par quelque force centrifuge, ce sont ceux qui, à mon avis, approchent le plus de la vérité, pourvu que se renfermant dans les bornes de la nature, ces philosophes n'attribuent pas la cause de cette force à quelque vertu ou faculté immatérielle et imaginaire, telles que sont l'antipathie et la sympathie. »

Cette restriction nous paraît tout à fait caractéristique de l'esprit dans lequel Bernoulli prétendait résoudre le problème : ce n'était pas seulement la matière subtile qu'il retenait de la conception cartésienne, mais le mécanisme même fondé sur l'impulsion que Descartes avait voulu mettre à la base de tout système de l'Univers. Bien plus, c'était vers une représentation tourbillonnaire de ce mécanisme que l'inclinait l'idée de force centrifuge, à laquelle il s'attachait.

Qu'il s'agisse de fluides ou de solides élastiques, il se trouve en eux quantité de sphères creuses, qui tendent continuellement à se dilater par la force centrifuge de leurs mobiles circulants. Dans le cas d'un corps solide, ces sphères se trouvent renfermées dans des petites cavités ou cellules, desquelles elles ne peuvent s'échapper en raison même de la petitesse des pores établissant la communication entre ces cellules pour le passage

(1) *Œuvres*. 4 vol. in-4°. Lausanne et Genève 1742, III p. 89.

de la matière subtile. « Voilà donc le corps raide ou élastique, considéré comme un amas de petits récipients, dont chacun contient une quantité de matière fluide élastique (1) proportionnée à sa capacité. Mais un corps composé de la sorte ne saurait être plié ou comprimé, qu'une partie de ses cellules ne se rétrécissent, et que les sphères creuses qui y sont renfermées, se rétrécissant aussi à proportion, ne deviennent plus petites. Leurs mobiles circulants seront donc obligés de décrire de plus petits cercles, pendant qu'ils conserveront toujours leur même vitesse : la matière subtile, qui la leur imprime, continuant toujours d'être agitée de même, quelle que puisse être la compression des pores et des cellules... D'où il s'ensuit que chacun des mobiles circulants aura une force d'autant plus grande, que le rayon de la surface sphérique sur laquelle il circule diminue davantage ; les forces centrifuges des mobiles égaux, qui circulent avec des vitesses égales sur des circonférences de cercles inégaux étant en raison renversée de leurs rayons. Les surfaces sphériques, ou les sphères creuses contenues dans les cellules rétrécies, feront donc un plus grand effort pour les dilater, qu'elles ne faisaient avant la compression des cellules. Or c'est précisément dans cet effort, exercé continuellement contre les parois des cellules et qui tend à les élargir, que consiste la vertu des corps à ressort. » (2)

32. — On ne peut manquer de remarquer l'analogie de cette explication avec celle que Mazière, dont le mémoire (3) fut couronné, demandait à la théorie de Malebranche. Estimant que « l'idée de M. Descartes sur les grands tourbillons et du

(1) Notons ici, pour ne pas trahir la pensée de Bernoulli, que cette matière n'est pas élastique par elle-même mais seulement par sa composition. Bernoulli appelait de ce nom l'ensemble des sphères creuses en mouvement.

(2) *Œuvres*, III, p. 97.

(3) *Les lois du choc des corps à ressort parfait ou imparfait*, 1 vol. in-4°. Paris, 1727. Mazière donna immédiatement à ce mémoire une suite dans son *Traité des petits tourbillons de la matière subtile*, 1 vol. in-4°. Paris, 1727.

P. Malebranche sur les petits ne sont pas des idées purement métaphysiques, ni des suppositions arbitraires » (1), c'est à ces idées qu'il se référait constamment pour rendre compte des phénomènes.

« La matière subtile n'est composée que d'une infinité de tourbillons qui tournent sur leurs centres avec une extrême rapidité, et qui se contrebalancent les uns les autres, comme les grands tourbillons que M. Descartes a expliqués dans ses *Principes de philosophie.* J'emprunte les paroles de l'illustre auteur (le P. Malebranche dans la *Recherche de la vérité.* Eclaircissement XVI) de cette découverte. » (2) En effet « les mêmes raisons qui prouvent qu'il y a de grands tourbillons, prouvent qu'il y en a de petits ; et si l'on admet l'idée des tourbillons grands et petits, ce sont des sphères de toutes sortes de grandeurs, qui remplissent l'Univers, qui se touchent dans tous les points physiques de leurs surfaces ; enfin qui peuvent se toucher aux pôles comme partout ailleurs, puisqu'ils ont autant de forces centrifuges à leurs pôles que dans le reste de leurs surfaces.

« Tous ces principes sont des conséquences que je déduis de l'idée seule des tourbillons : et l'idée des tourbillons n'est pas une idée purement métaphysique : j'ai prouvé qu'il faut la reconnaître dans la Nature. » (3)

Dès lors « voici, précisait Mazière (4), l'idée que je me forme d'un corps à ressort parfait. Il est rempli d'une infinité de pores que la matière subtile a arrondis par ses mouvements circulaires. Tous ces pores imperceptibles communiquent les uns aux autres et au dehors par une infinité de canaux qui, par leur petitesse extrême, ne donnent passage à aucun autre fluide qu'à la matière subtile. Chaque pore contient un ou plusieurs tourbillons ; et ce sont ces tourbillons, qui par leurs

(1) *Traité des petits tourbillons*, p. 29.
(2) *Les lois du choc des corps à ressort*, p. 17.
(3) *Traité des petits tourbillons*, p. 39.
(4) *Les lois du choc des corps à ressort*, p. 22.

forces centrifuges donnent de la consistance aux parties intégrantes du solide, et qui les unissent ensemble. Plus ils sont petits, et plus toutes choses égales le corps est dur, et plus en même temps son ressort est prompt ; car plus les tourbillons sont petits, et plus ils ont de force centrifuge pour unir ensemble les parties intégrantes du solide, et pour repousser promptement les forces extérieures qui tendraient à les séparer.

« On peut concevoir outre cela que les parties d'un corps à ressort sont elles-mêmes de petits corps à ressort, qui ont encore des pores, des canaux et des tourbillons proportionnés à leur petitesse ; d'où il arrive encore que ces parties ont plus de dureté que les solides dont elles sont les parties intégrantes...

« Supposons maintenant que deux corps tels à peu près que je viens de les décrire se choquent directement avec des forces égales et opposées... Les corps ne se communiquent pas leurs mouvements dans un instant indivisible, mais successivement dans un temps très court, et ils emploient leurs forces primitives à se comprimer mutuellement. La matière subtile qui par sa nature ne résiste point au mouvement, doit abandonner en partie les pores comprimés. Le mouvement se communique des premiers pores aux seconds et de là successivement aux autres: et à mesure que le mouvement se communique, la matière subtile continue de sortir du côté vers lequel elle est poussée. Ainsi les pores s'aplatissent et prennent des figures à peu près elliptiques ; et continuent de s'aplatir jusqu'à l'instant précis que les corps aient épuisé toutes leurs forces primitives par ces compressions mutuelles.

« Il est donc clair que la matière subtile doit sortir des corps pendant le temps que dure la compression. Mais il n'est pas moins évident qu'elle doit commencer à y rentrer dans l'instant que la compression cesse ; car dès l'instant que la compression cesse, il doit y avoir un parfait équilibre entre tous les tourbillons extérieurs et intérieurs, parce que ceux-ci cessent dans cet instant de sortir et de repousser ceux-là, de sorte qu'un tourbillon à moitié sorti d'un pore, doit rester dans cet

état, jusqu'à ce qu'il survienne quelque changement qui l'oblige de sortir ou de rentrer.

« D'ailleurs, il est évident que dans ce même instant les forces centrifuges des tourbillons extérieurs sont égales à celles qu'ils avaient avant le choc des deux corps, mais dans ce même instant les forces centrifuges des tourbillons intérieurs sont augmentées, parce que leurs diamètres sont diminués. Avant le choc les tourbillons intérieurs tendaient par leurs forces centrifuges à élargir les pores où ils circulaient; mais inutilement parce que les tourbillons extérieurs avaient des forces centrifuges qui suffisaient alors pour empêcher l'action des tourbillons intérieurs.

« A la fin de la compression, les tourbillons intérieurs ont acquis des degrés de force centrifuge, et les tourbillons extérieurs n'en ont point acquis. Ainsi, dans l'instant que nous considérons, les tourbillons extérieurs n'ont pas des forces centrifuges qui soient capables d'arrêter l'action par laquelle les tourbillons intérieurs tendent à élargir leurs pores. Il n'y a donc point de doute qu'ils ne doivent commencer à les élargir ; mais ils ne peuvent commencer à les élargir, que les tourbillons extérieurs ne rentrent ; et ils doivent continuer de rentrer à mesure que les pores s'élargissent. Ainsi toute la matière qui était sortie des corps, y rentre successivement à mesure que les parties comprimées se rétablissent, de la même manière qu'elles ont été comprimées, mais dans un ordre renversé.

« C'est ainsi que les ressorts parfaits se débandent avec des vitesses égales à celles avec lesquelles ils ont été bandés, par la force infinie des petits tourbillons ; et il est clair que les ressorts, en se débandant avec des forces égales à celles par lesquelles ils ont été bandés, doivent repousser les corps en arrière avec des forces égales à leurs forces primitives...

« Quoi qu'il en soit de cette explication, que j'ai tâché au moins de rendre probable, je ne puis douter que la matière subtile par son action ne soit la cause physique du ressort.

On pourrait donner d'autres solutions; mais je me suis arrêté à celle qui m'a paru avoir le plus de vraisemblance. »

Cette explication par la matière subtile, déjà annoncée dès les premières pages de la dissertation sur *Les lois du choc des corps à ressort*, y était d'ailleurs présentée comme un moyen ingénieux de rester fidèle à un strict mécanisme. « A moins, insistait l'auteur (1), que l'on ne veuille avoir recours aux qualités occultes, etc., à des termes vagues qui ne présentent rien à l'esprit, il faut convenir que la cause physique du ressort est une matière dont l'air emprunte sa fluidité et sa force. C'est cette matière que l'on nomme subtile ou éthérée, dans laquelle tous les hommes vivent, et dont peut-être tous les hommes ont ignoré l'existence avant M. Descartes. »

Soucieux d'écarter les objections, il répondait ailleurs à la difficulté soulevée par certains physiciens contre l'existence de la matière subtile. « Par cette raison unique, que l'on ne voit pas un fluide, doit-on le rejeter, et lui substituer des qualités occultes, des vides absolus, des attractions, etc., c'est-à-dire donner pour causes physiques des termes vagues et obscurs, qui ne réveillent l'idée distincte d'aucune des choses qu'il soit permis aux yeux du corps, et à ceux de l'esprit, d'apercevoir dans la nature ?

« Nous tâcherons dans ce traité de raisonner toujours sur des idées plus claires et plus conformes aux principes d'une bonne physique. » (2) Ces principes n'étaient autres que ceux-là mêmes de la mécanique cartésienne dirigée par la notion de l'impulsion, tandis que l'attraction newtonienne se trouvait ainsi rejetée dans les qualités occultes qu'il convenait de bannir définitivement.

33. — Et ce n'était pas à des conclusions bien différentes à ce point de vue que s'arrêtait, la même année, Privat de

(1) *Op. cit.*, p. 11.
(2) *Traité des petits tourbillons*, Préface, p. IX.

Molières dans son *Explication physique et mécanique du choc des corps à ressort* (1). En effet, si sa qualité d'académicien ne lui permit pas de concourir pour le prix, il profita de la circonstance pour étudier lui-même la question posée, ou tout au moins pour communiquer à ses collègues le résultat de ses recherches.

Après avoir constaté « l'extrême difficulté » présentée par le problème du choc des corps à ressort, « c'est aussi, remarquait-il (2) ce qui a porté la plupart des philosophes de ce temps, et ceux-là même qui ont acquis le plus de réputation, à imaginer de nouveaux principes du mouvement en général, d'où ces effets pussent se déduire avec plus de facilité, que de ceux qui étaient communément reçus avant qu'on eût une connaissance distincte de ce phénomène. Mais comme c'est une maxime reçue de tout temps, que dans l'explication d'un effet on ne doit jamais avoir recours à la métaphysique, tant qu'on peut espérer de pouvoir en trouver une raison physique, et le déduire des principes déjà établis sur la raison et sur l'expérience, quelque longue, difficile et cachée que puisse être cette déduction, ce que l'on peut toujours espérer de faire, lorsque le phénomène est composé, ou qu'il dépend de la combinaison de plusieurs causes, tel qu'est visiblement celui dont nous traitons, je me suis enfin déterminé à examiner avec plus de soin les différences qui sont entre le choc des corps que l'on suppose être à ressort parfait, et celui des corps que l'on suppose être parfaitement durs, et si la diversité des effets de ces chocs ne pourrait pas bien se déduire mécaniquement de ces mêmes différences. »

Si d'ailleurs l'attention de Privat de Molières était ainsi particulièrement retenue par les lois mêmes du choc et détournée par conséquent de l'examen de la cause du rétablissement des corps à ressort dans leur forme, il ne pouvait cependant

(1) *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1726, p. 10 et suiv.
(2) *Op. cit.*, p. 26.

tout à fait se désintéresser de cette seconde question. Or, sur ce point, comme sur la conception générale du mécanisme de l'Univers, il se ralliait encore à une formule cartésienne. « Je supposerai, si l'on veut, avec Descartes que ce rétablissement est produit par la matière subtile, qui rentre dans les pores du corps, dont elle a été chassée durant son aplatissement, avec la même impétuosité qu'elle en est sortie, ou que cet effet arrive par quelqu'autre cause que ce puisse être que je nommerai la cause générale du ressort et que je regarderai ici comme donnée. » (1) Si cette seconde possibilité était supposée ici, le développement des idées n'en laisse pas moins transparaître clairement la préférence pour l'explication cartésienne.

Privat de Molières ne devait pas tarder ensuite à prendre plus nettement encore position contre Newton en défendant contre les objections de celui-ci le système des tourbillons.

34. — Tandis que l'Académie des Sciences couronnait le mémoire du P. Mazière, celle de Bordeaux attribua son prix de l'année 1726 au P. Alexandre pour son *Traité du flux et du reflux de la mer*. Le jugement de cette Académie peut paraître au moins aussi déconcertant que la teneur même de cet ouvrage, dans lequel l'auteur prétendait expliquer le système du monde en faisant tourner la terre autour de la lune (2).

(1) *Op. cit.*, p. 14.

(2) « Ce n'est point là pourtant, de l'avis de Dortous de Mairan (*Dissertation astronomique sur le mouvement de la lune et de la terre où l'on examine laquelle de ces deux planètes tourne autour de l'autre comme satellite*, in *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1727, p. 90), une de ces idées de pur caprice, manifestement contraire aux apparences célestes et aux observations. Nos yeux ne nous disent pas plus distinctement de la lune qu'elle tourne autour de la terre, qu'ils ne nous l'avaient dit du soleil et des autres planètes, aussi bien que des étoiles fixes. » « J'avoue au contraire, ajoutait-il (*op. cit.*, p. 92), en parlant du P. Alexandre, que la hardiesse et la singularité de son hypothèse ont piqué ma curiosité et qu'accoutumé à regarder la lune comme notre satellite et la terre comme sa planète principale, j'ai senti quelque impatience de savoir ce qu'il en fallait penser. » D'ailleurs il estimait « que cette célèbre compagnie, en couronnant la Dissertation dont il s'agit, n'avait pas seulement songé à en récompenser le

Le P. Alexandre s'attendait tellement à une résistance qu'il s'efforçait d'anticiper sur la critique et de désarmer par avance les oppositions. « Je ne doute point, assurait-il (1), que plusieurs ne se révoltent contre la nouveauté de ce système, qui fait tourner la terre autour de la lune, d'autant que cette proposition n'a pas encore été avancée par aucun philosophe que je sache ; mais ce n'est pas une raison pour ne pas l'admettre. L'effet du flux et du reflux de la mer qui en résulte naturellement le demande, et quelques préjugés que l'on ait du contraire, il faut y faire une sérieuse réflexion avant que de refuser d'y donner son consentement. »

Avec de telles idées, le P. Alexandre ne pouvait guère se trouver en accord, même de loin, avec la théorie cartésienne des marées. Aussi consacrait-il son chapitre VI à une réfutation du sentiment de Descartes, inspirée d'ailleurs des diverses objections déjà apportées contre lui, et qu'il considérait comme décisives au point de ruiner complètement le système sur ce point.

Mais, tandis qu'il mentionnait les explications de César d'Arcons (2), de Scalberge Minière (3) et de bien d'autres,

mérite, mais qu'elle avait encore voulu inviter ceux qui la liraient à éclaircir une question aussi curieuse et intéressante que celle du mouvement de la terre autour de la lune. » (*Op. cit.*, p. 152). Il n'entre pas dans le plan de notre travail de reproduire les arguments pour ou contre. Signalons seulement que Dortous de Mairan concluait « qu'on ne saurait trouver aucune loi de pesanteur, d'équilibre, ni de mouvement dans l'Astronomie physique, qui ne tende à subordonner la petite planète à la grande, et à la faire tourner autour d'elle. » (*Op. cit.*, p. 151). On aurait pu le prévoir, car « en général il est aisé de voir que l'astronomie et principalement l'astronomie physique, ayant supposé jusqu'ici que la terre se meut dans son orbe autour du soleil, et la lune dans un autre orbe particulier autour de la terre, on ne saurait transporter la terre et la lune, sans qu'il arrive des changements considérables, qui dérangeraient des calculs d'astronomie, auxquels on a tout sujet de se fier. » (FONTENELLE *Histoire de l'Académie des Sciences* 1727, p. 172).

(1) *Traité du flux et du reflux de la mer*, 1 vol. in-12, Paris, 1726, p. 62.

(2) *Traité du flux et du reflux*, 1 vol., 2e édition, Bordeaux, 1667.

(3) *Traité du flux et du reflux*, 1 vol., Chartres, 1680.

celle de Newton était tout simplement passée sous silence, sans doute parce qu'elle ne lui paraissait pas suffisamment mécanique.

Bien plus, s'il n'estimait pas que Descartes eût compris le mécanisme du flux et du reflux, il ne faisait aucune difficulté cependant d'admettre l'hypothèse tourbillonnaire et faisait au contraire constamment intervenir les tourbillons dans ses propres explications ; à tel point que nous sommes autorisés par là à classer encore cette œuvre parmi celles que l'esprit cartésien continuait à animer.

Il est vrai que l'idée essentielle du mémoire, c'est-à-dire cette révolution de la terre autour de la lune, pouvait susciter une difficulté nouvelle au système des tourbillons. « Car, quoique nous ne sachions pas précisément ce qui détermine le tourbillon d'une planète à être de telle ou telle grandeur, et à avoir telle ou telle force pour entraîner les corps durs ou fluides qui se rencontrent dans la sphère de son activité, nous pouvons cependant présumer avec beaucoup de vraisemblance, que dans le conflit de deux tourbillons voisins celui d'une planète 50 ou 55 fois plus grosse qu'un autre, comme est la terre par rapport à la lune, a dû l'emporter sur le tourbillon de celle-ci, le détruire ou le contraindre à circuler avec lui en second. » (1)

Quoi qu'il en soit, si le P. Aubert ne crut pas devoir laisser cet ouvrage sans réplique (2), ce n'était pas parce qu'il le trouvait trop cartésien, mais au contraire parce qu'il y voyait l'esprit d'un disciple trop indépendant de Descartes. Après avoir montré « une partie des difficultés insurmontables » relevées dans les explications du P. Alexandre, il résumait

(1) Dortous de Mairan, *op. cit.*, p. 148-149. Assurément la difficulté aurait été la même contre le système de l'attraction ; car « ce que doit faire à cet égard la grandeur proportionnelle des tourbillons dans le système cartésien, l'action respective des corps à raison de leurs masses le fera dans le système newtonien. » (*Op. cit.*, p. 149).

(2) *Réponse au Traité du flux et du reflux de la mer du P. Jacques Alexandre*, in *Journal de Trévoux*, novembre 1727, p. 2008 et suiv.

ainsi son impression générale sur ce système : « Quoique composé et suivi avec beaucoup d'esprit, exposé avec beaucoup d'ordre et de clarté, il heurte par tant d'endroits les lois de la Nature, et est appuyé sur des principes si destitués de preuves, qu'il n'a ni la solidité, ni les liaisons nécessaires avec le reste de l'Univers pour résister longtemps à l'examen et à la méditation. » (1)

Il s'estimait d'ailleurs en mesure d' « assurer ce Révérend Père qu'il n'est pas difficile de répondre aux objections qui l'ont détaché du sentiment de Descartes et qui l'ont fait marcher dans des routes toutes nouvelles. » (2) « Il peut maintenant, insistait-il, revenir au système de Descartes jusqu'à ce qu'on ait trouvé quelque chose de meilleur. »

35. — Tandis que les circonstances favorisaient si peu le développement des doctrines newtoniennes, le décès de Newton vint mettre le secrétaire de l'Académie dans une situation embarrassante. Il ne pouvait décemment transformer l'éloge en une série de critiques dont la force risquait bien vite de paraître outrée; d'autre part des éloges non tempérés par des objections pouvaient sembler une feinte ou bien une défaite. Fontenelle, comme on pouvait s'y attendre, sut faire un juste mélange des critiques et des éloges ; et pour ne pas laisser oublier Descartes, il le plaça à côté de Newton en un parallèle remarquable : « Les deux grands hommes qui se trouvent dans une si grande opposition ont eu de grands rapports. Tous

(1) *Op. cit.*, p. 2032. Nous pouvons rapprocher de cette appréciation ce passage d'une *Lettre d'un professeur de philosophie au R. P. Alexandre touchant son Traité du flux et du reflux de la mer*, affirmant « que le système étant appuyé sur un faux principe, que ses hypothèses étant contraires ou aux lois de la physique, ou aux observations, que ses explications étant ou fausses, ou opposées les unes aux autres ; et qu'enfin n'ayant point rendu raison de tous les phénomènes généraux du flux et du reflux de la mer, on ne peut s'empêcher de rejeter ce système.» (*Journal de Trévoux*, Avril 1728, p. 604).

(2) *Op. cit.*, p. 2030.

deux ont été des génies de premier ordre, nés pour dominer sur les autres esprits et pour fonder des empires. Tous deux, géomètres excellents, ont vu la nécessité de transporter la géométrie dans la physique. Tous deux ont fondé leur physique sur une géométrie qu'ils ne tenaient presque que de leurs propres lumières. Mais l'un, prenant un vol hardi, a voulu se placer à la source de tout, se rendre maître des premiers principes par quelques idées claires et fondamentales, pour n'avoir plus qu'à descendre aux phénomènes de la nature comme à des conséquences nécessaires. L'autre, plus timide ou plus modeste, a commencé sa marche par s'appuyer sur les phénomènes pour remonter aux principes inconnus, résolu de les admettre, quels que les pût donner l'enchaînement des conséquences. L'un part de ce qu'il entend nettement pour trouver la cause de ce qu'il voit, l'autre part de ce qu'il voit pour en trouver la cause, soit claire, soit obscure. Les principes évidents de l'un ne le conduisent pas toujours aux phénomènes tels qu'ils sont, les phénomènes ne conduisent pas toujours l'autre à des principes assez évidents. Les bornes qui dans ces deux routes contraires ont pû arrêter deux hommes de cette espèce, ce ne sont pas les bornes de leur esprit, mais celles de l'esprit humain. » (1)

Ayant ainsi, dans cette question délicate, élargi un peu l'horizon, Fontenelle n'hésita pas, tout en rendant hommage à « cet esprit original », à « cet esprit créateur » qu'il se plait à relever chez Newton, à signaler dans la doctrine de ce savant, à côté de théories fécondes et d'expériences destinées à servir de modèles en philosophie expérimentale (en optique par exemple), des erreurs dangereuses pour l'avenir de la science.

S'attaquant à l'idée même de l'attraction : « Il n'emploie à chaque moment, dit-il (2), que ce mot pour exprimer la force active des corps, force, à la vérité, inconnue, et qu'il

(1) *Eloge de Newton*, in *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1727, p. 221.
(2) *Op. cit.*, p. 217-218.

ne prétend pas définir; mais si elle pouvait agir aussi par impulsion, pourquoi ce terme plus clair n'aurait-il pas été préféré ? Car on conviendra qu'il n'était guère possible de les employer tous deux indifféremment, ils sont trop opposés. L'usage perpétuel du mot d'attraction, soutenu d'une grande autorité, et peut-être aussi de l'inclination qu'on croit sentir à M. Newton pour la chose même, familiarise du moins les lecteurs avec une idée proscrite par les cartésiens, et dont tous les autres philosophes avaient ratifié la condamnation : il faut être présentement sur ses gardes, pour ne lui pas imaginer quelque réalité ; on est exposé au péril de croire qu'on l'entend.

Puis, passant à l'examen des explications mêmes de Newton, soucieux de dégager sa doctrine d'attaches plus ou moins apparentes avec celle de l'Ecole, il cherche à montrer que toute confusion ne se trouve pas par là écartée. « Il déclare bien nettement, reconnaît-il (1), qu'il ne donne cette attraction que pour une cause qu'il ne connaît point, et dont seulement il considère, compare et calcule les effets; et pour se sauver du reproche de rappeler les *qualités occultes* des scolastiques, il dit qu'il n'établit que des qualités *manifestes* et très sensibles par les phénomènes ; mais qu'à la vérité les causes de ces qualités sont *occultes* et qu'il en laisse la recherche à d'autres philosophes. Mais ce que les scolastiques appelaient qualités occultes n'étaient-ce pas des causes ? Ils voyaient bien aussi les effets. D'ailleurs ces causes occultes que Newton n'a pas trouvées, croyait-il donc que d'autres les trouvassent ? S'engagera-t-on avec beaucoup d'espérance à les chercher? » Si bien que « l'attraction et le vide, bannis de la physique par Descartes, et bannis pour jamais selon les apparences, y reviennent ramenés par M. Newton, armés d'une force toute nouvelle dont on ne les croyait pas capables, et seulement peut-être un peu déguisés. » (2)

(1) *Op. cit.*, p. 227.
(2) *Op. cit.*, p. 221.

Dans cet *Eloge* se trouvaient en germe la plupart des objections que les cartésiens allaient dès lors renouveler, prolonger, préciser et dresser, avec une violence croissante, contre les envahissements du newtonianisme.

CHAPITRE III

L'effort des grands cartésiens (1728-1732)

36. — C'est dans un esprit de traditionalisme cartésien que le prix de l'Académie des Sciences fut décerné, en 1728, à Bulffinger pour son mémoire sur la cause physique de la pesanteur (1). « Il faut avouer, affirmait l'auteur, dès le paragraphe XI de son ouvrage, qu'il n'y a rien de plus simple que les tourbillons cartésiens ; il faut donc, à mon avis, tout tenter avant de les abandonner ; et s'ils ne peuvent être complètement conservés, je voudrais que l'on n'y fasse que le plus petit changement possible. » (2)

S'inspirant de la méthode de Saulmon, dont nous avons déjà examiné les études expérimentales sur les tourbillons (3), il reprit des expériences sur les tourbillons ; mais, sans revenir sur les tourbillons cylindriques, suffisamment connus par les recherches de Saulmon, il porta son attention aux tourbillons sphériques.

Ayant pris une sphère de verre creuse et l'ayant remplie en grande partie d'eau avec un peu de limaille de fer, il l'adapta à un dispositif spécial, lui permettant de donner à cette sphère un mouvement de rotation plus ou moins rapide autour de son axe horizontal.

Il constata que la limaille constituait un équateur plus ou moins large suivant sa quantité, et qu'en cas de ralentissement dans le mouvement de rotation, si cette limaille était

(1) *De causa gravitatis physica generali disquisitio experimentalis*, 1 vol. in-4°. Paris 1728.

(2) *Op. cit.*, p. 6. Nous donnons ici la traduction au lieu du texte latin.

(3) Voir § 11.

constituée de particules différentes, elle se séparait et formait non plus seulement un équateur, mais des cercles tropicaux ou polaires.

D'autre part le mouvement de rotation faisait que l'air, après s'être mélangé à l'eau dans certaines proportions, se rassemblait en une figure cylindrique plus ou moins resserrée suivant la vitesse plus ou moins grande et disposée suivant l'axe de la sphère ; puis se séparait complètement de l'eau pour former au milieu de la sphère un noyau cylindrique.

La conclusion qui s'imposait par généralisation, bien loin de confirmer l'idée de Descartes, mettait au contraire en valeur une des objections de Huygens. Bulffinger ne cherchait pas à le dissimuler et reconnaissait au contraire que cette expérience établissait que, dans un tourbillon sphérique où des corps se trouveraient réunis en noyau par l'action de la force centrifuge supérieure d'autre corps, les directions de ces corps ne tendraient pas au centre de la sphère mais vers l'axe de rotation.

Cependant Bulffinger critiquait l'explication de Huygens, qui n'était à son avis qu'une façon bien imparfaite de résoudre la difficulté. Pour arriver à un résultat satisfaisant, il convenait, d'après lui, de chercher dans un sens un peu différent, en prolongeant encore les conséquences de l'expérience précédente. Supposant en effet simultanément à la sphère une double rotation autour de deux axes perpendiculaires entre eux, l'un horizontal, comme nous l'avons vu, l'autre par conséquent vertical (1), il se demandait quelle figure pouvait être donnée

(1) Après avoir fait cette supposition dans le § XXIX de sa dissertation, Bulffinger reconnaissait dans le § LXIII que ce postulat pouvait paraître difficile à admettre. Aussi, bien loin de voir quelque inconvénient à ce que l'on cherchât des causes à ces rotations, estimait-il nécessaire d'engager en ce sens les investigations ultérieures. Cependant, pour rendre la chose plus vraisemblable, il cherchait à établir que dans la nature il peut arriver que deux fluides se traversent mutuellement sans inconvénient sensible et que par conséquent deux tourbillons peuvent ainsi se pénétrer sans se gêner.

au noyau par la combinaison de ces deux actions tourbillonnaires poussant les corpuscules en même temps vers l'axe horizontal et vers l'axe vertical.

Négligeant les nombreuses complications géométriques du problème, qui pourraient résulter d'hypothèses différentes, Bulffinger, en faisant égales les deux vitesses de rotation, trouvait que les particules devaient tendre au centre de la sphère et qu'un point quelconque de la surface sphérique devait décrire un grand cercle (de même d'ailleurs qu'à l'intérieur du fluide chaque point des diverses couches concentriques). Il tirait de là, en s'appuyant sur le corollaire 3 de la proposition IV du Premier livre des *Principia*, que le noyau devait être sphérique. D'ailleurs un dispositif ingénieux, en lui permettant de réaliser cette double rotation dans les conditions déterminées, lui laissait espérer une confirmation expérimentale de ces calculs (1).

Il ne restait dès lors qu'à supposer donnée dans la Nature cette double rotation et c'est à quoi aboutissait le raisonnement de Bulffinger, concernant la cause générale de la pesanteur.

L'auteur ne s'en tenait d'ailleurs pas là. Généralisant encore le problème, il ne croyait pas impossible de calculer, dans une telle hypothèse, les mouvements susceptibles de donner aux différentes planètes les temps périodiques reconnus par les observations.

Cependant, parmi les objections formulées par Newton contre les tourbillons, une surtout lui paraissait apporter de grandes difficultés : c'était l'impossibilité de concilier dans l'hypothèse tourbillonnaire les deux lois de Képler. Bien loin de se refuser à reconnaître les inconvénients de la solution proposée par Leibniz, Bulffinger insistait au contraire sur ce point avec quelque complaisance et se montrait tout prêt à abandonner

(1) Il annonçait dans son mémoire qu'il tiendrait au courant des résultats de cette expérience.

cette idée de l'interruption du tourbillon solaire, à condition qu'il ne fût pas entraîné pour cela dans quelque inconvénient plus grave. Et il précisait qu'il entendait par là la nécessité d'admettre des forces attractives et des mouvements imprimés régulièrement aux planètes sans aucune impulsion. Ainsi autant il se montrait attaché à la physique tourbillonnaire, autant il manifestait de répulsion à l'égard des théories newtoniennes.

Après avoir vainement essayé d'échapper, dans l'hypothèse tourbillonnaire, à la nécessité d'admettre l'interruption postulée par Leibniz, il faisait surtout des efforts pour rendre plus acceptable cette interruption de la loi de rotation des couches. Pour cela il posait une différence dans la densité des tourbillons, celle-ci étant constante dans l'épaisseur des orbes pris séparément et décroissante dans les intervalles compris entre eux.

Ayant calculé ensuite le rapport entre l'impulsion latérale exercée sur les corpuscules d'une planète par le fluide tourbillonnaire et l'impulsion reçue par les mêmes corpuscules dans la direction du centre, et ayant trouvé que l'impulsion latérale disparaît toujours en comparaison de la verticale, celle-ci étant incomparablement plus grande que la première, il en concluait que l'objection tirée contre les tourbillons du sens et de la vitesse de la rotation des planètes autour de leur axe se trouvait par là résolue. En effet, si l'impulsion latérale disparaît toujours en comparaison de la verticale, les tourbillons ne peuvent être la cause de cette rotation des planètes autour de leur axe, et, s'il n'y avait quelque autre cause de cette rotation, la terre et les autres planètes seraient en repos dans leurs propres tourbillons, sans mouvement de rotation sur elles-mêmes.

Ainsi donc la rotation des planètes sur elles-mêmes ne pouvait, de l'avis de Bulffinger, fournir ni un argument en faveur des tourbillons, ni une objection contre eux. « Si nous pouvons, concluait-il, assigner une autre origine à cette rotation,

c'est bien ; si nous ne le pouvons pas, cela prouve notre ignorance, non la fausseté des tourbillons » (1).

Après avoir rappelé, dans un rapide résumé, les points essentiels de son travail : explication de la pesanteur et des principaux mouvements des astres, conciliation de certaines idées en apparence contradictoires, il ajoutait : « Peut-être notre défense des tourbillons est-elle susceptible d'affermir les uns dans leur assertion concernant cette explication, les autres dans leurs critiques » (2). Il ne pouvait guère se tromper en jugeant ainsi ; et, si l'Académie décida aussitôt en sa faveur en lui décernant le prix, il ne devait pas tarder à voir ses arguments non seulement attaqués par les partisans de Newton, mais encore, jusqu'à un certain point au moins, négligés par les cartésiens mêmes.

37. — Fontenelle montrait bien l'importance de la lutte engagée entre cartésiens et newtoniens lorsqu'il remarquait à ce sujet en 1728 : « Il ne faut pas s'étonner que les philosophes reviennent souvent à cette matière. Rien n'est plus intéressant pour eux que de savoir si l'ingénieux système des tourbillons de Descartes, et qui se présente si agréablement à l'esprit, tombera accablé sous les difficultés qu'on lui oppose ; et si l'on sera réduit à en prendre un autre qui a des difficultés aussi grandes et plus frappantes, quoiqu'il ait des faces fort avantageuses. » (3)

Ces réflexions, qui ouvrent le compte rendu consacré à un mémoire de Privat de Molières sur les *Lois générales du mouvement dans le tourbillon sphérique* (4), laissent préjuger de l'enthousiasme avec lequel le secrétaire applaudissait aux conclusions nettement cartésiennes de l'auteur. « Il ne paraît donc pas nécessaire de supposer, pour le système de l'univers, des

(1) *Op. cit.*, § LXII, p. 33.
(2) *Op. cit.*, § LXVII, p. 36.
(3) *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1728, p. 134.
(4) *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1728, p. 349 et suiv.

attractions qu'on ne peut concevoir, puisque des forces centrifuges bien constantes et bien avérées donnent tout ce que donneraient les attractions. On n'a pas besoin non plus du vide, puisque toute l'action des forces centrifuges s'exercera bien dans le plein, comme on l'a supposé tacitement ici. Le système général de Descartes mérite que non seulement la nation française, mais toute la nation des philosophes, soit disposée favorablement à le conserver. Les principes en sont plus clairs et portent avec eux plus de lumière. » (1)

Mais comment Privat de Molières parvenait-il à étayer ainsi les idées cartésiennes ? S'appuyant lui-même sur les travaux de Varignon et sur ses calculs des forces centrifuges, et considérant d'abord, en raison de la plus grande simplicité de leur étude, des tourbillons cylindriques dont l'axe soit égal au diamètre de leur base (ce qui permet de passer plus aisément d'eux aux tourbillons sphériques), « l'abbé de Molières démontre que dans un tourbillon cylindrique, dont toutes les couches ou surfaces cylindriques auraient des vitesses égales, c'est-à-dire feraient leurs révolutions en des temps proportionnels aux distances à l'axe du cylindre, toutes les forces centrifuges seraient égales, et par conséquent aucune couche, aucun globule, ne monterait ni ne descendrait, et dans cet équilibre de forces toutes les parties circuleraient perpétuellement sans se troubler les unes les autres, sans se mêler jamais. » (2)

Les conditions de l'équilibre ne sont plus les mêmes dans un tourbillon sphérique. En effet, « dans un tourbillon sphérique les forces centrales de tous les points dont il est composé seront en équilibre, lorsqu'elles seront entre elles réciproquement comme les carrés de leurs distances au centre du tourbillon. » (3) Privat de Molières établissait en outre que « dans un tourbillon sphérique dont les forces centrales de

(1) *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1728, p. 142.
(2) *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1728, p. 139.
(3) *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1728, p. 370.

tous les points sont en équilibre, les vitesses de ses points seront entre elles comme les racines réciproques de leurs distances au centre, et leurs forces centrales comme les carrés des carrés de leurs vitesses. » (1)

Après avoir ainsi déterminé les conditions de l'équilibre dans un tourbillon sphérique, Privat de Molières en arrivait à la question des temps périodiques. Tandis que « les temps des périodes ou révolutions des points d'une même superficie sphérique sont entre eux comme leurs distances à l'axe du tourbillon » (2), « les distances des points qui se meuvent dans le plan de l'équateur d'un tourbillon sphérique sont entre elles comme les racines cubes des carrés des temps périodiques de ces mêmes points. » (3) « C'est la fameuse règle de Képler, ajoutait l'auteur, par le moyen de laquelle on détermine le rapport des distances des planètes au soleil, en connaissant les temps de leurs révolutions, qui devient par les démonstrations précédentes un principe de mécanique, duquel on pourra déduire géométriquement tous les mouvements célestes, ainsi que M. Villemot l'a déjà tenté, et qui soutient et confirme le système des tourbillons de Descartes, bien loin de le renverser, comme on l'a prétendu de nos jours. »

C'était en effet à la fois une réponse à l'objection proposée par Newton dans la proposition 52 du livre II des *Principia*, et une méthode nouvelle de calcul du rapport des temps périodiques. Tandis que pour Newton les distances qu'il importait de prendre en considération étaient, quels que fussent les points du tourbillon sphérique, les distances au centre de la sphère, Privat de Molières, après avoir fait d'ailleurs une distinction entre les points de la superficie sphérique et les points placés dans le plan de l'équateur, se référait aux distances à l'axe du tourbillon, non seulement pour les premiers, mais aussi pour les seconds (puisque, pour le plan de l'équateur, le

(1) *Op. cit.*, p. 373.
(2) *Op. cit.*, p. 374.
(3) *Op. cit.*, p. 376.

centre de la sphère et l'axe du tourbillon ne se distinguent pas). Seul le rapport à considérer entre ces distances variait dans l'un et l'autre cas.

Mais, en retrouvant ainsi par le calcul la loi de Képler, Privat de Molières lui enlevait sa généralité, en n'en considérant l'application possible que pour les points se mouvant dans le plan de l'équateur. Fontenelle ne voyait pas de grave inconvénient à cette restriction, car « les planètes du tourbillon solaire ne circulent pas dans un même plan, mais il s'en faut peu ; et comme elles sont toutes naturellement portées à l'endroit du plus grand mouvement, qui est l'équateur du tourbillon, elles sont toutes à peu près dans ce même plan, et ne peuvent pas s'éloigner sensiblement de la règle de Képler » (1).

Cependant cette limitation restait une difficulté suffisante pour que Privat de Molières cherchât à élargir le plus possible le domaine d'application de son calcul. Aussi eut-il quelque satisfaction à démontrer que « dans un tourbillon sphérique, les points qui circulent dans une même superficie conique quelconque, qui a pour sommet le centre du tourbillon, et pour base un cercle quelconque parallèle à l'équateur, suivent la même loi que ceux qui circulent dans le plan de ce cercle » (2).

Ce premier résultat devait encourager Privat de Molières à continuer cette défense des tourbillons par l'examen d'une autre de ces difficultés que Fontenelle appelait « les formidables objections de M. Newton et de sa nombreuse secte » (3).

« Si les tourbillons existent, ce sont certainement de grands fluides d'une figure elliptique, dont les différentes couches

(1) *Histoire de l'Académie des Sciences* 1728, p. 142.

(2) *Mémoires de l'Académie des Sciences* 1728, p. 377. Par contre « dans le plan d'un cercle parallèle à l'équateur, le rapport des temps des révolutions des points qui y circulent, s'éloigne d'autant plus de la règle précédente, que ce cercle est plus distant de l'équateur ou plus voisin des pôles. » (*Op. cit.*, p. 379).

(3) *Histoire de l'Académie des Sciences* 1729, p. 121.

circulent autour d'un des foyers de l'ellipse avec différentes vitesses, qui sont entre elles, selon la règle de Képler, en raison renversée des racines carrées de leurs distances au foyer. Si l'on conçoit un cercle décrit du foyer comme centre, sur un rayon qui soit la distance de ce foyer au sommet de l'ellipse le plus proche, il est certain que tous les globules de chaque couche circulaire circuleront en même temps, mais que ceux d'une couche comparés à ceux d'une autre circuleront avec des vitesses différentes selon la règle de Képler. Ce cercle supposé, qui touchera l'ellipse par sa partie la plus proche du foyer, ou inférieure, ne peut que laisser beaucoup de vide dans la partie supérieure, où il ne s'étendra point ; et comme les globules de cette partie supérieure sont en beaucoup plus grand nombre que ceux de la partie inférieure, il est impossible qu'ils passent tous en même temps dans cette inférieure, ainsi qu'ils y sont obligés par la circulation, à moins qu'ils n'y passent avec une vitesse plus grande que celle qu'auraient eue les globules des couches circulaires. Mais la vitesse de ceux-ci aurait suivi la règle de Képler, la vitesse des autres ne peut donc pas suivre cette règle, puisqu'elle est plus grande, et par conséquent la règle de Képler ne s'observera pas dans des ellipses ; ce qui contredit le fait le plus constant de toute l'astronomie physique, reçu par les cartésiens comme par tous les autres philosophes. » (1)

Ainsi présentée, l'objection ne manquait pas d'être embarrassante ; et c'est à elle que s'attaqua Privat de Molières dans le mémoire qu'il présenta à l'Académie en 1729 (2).

Après avoir admis l'impossibilité d'une solution satisfaisante, en supposant avec Descartes la dureté des globules, Privat de

(1) Nous empruntons ici l'exposé donné par Fontenelle à cette objection avant d'indiquer la solution imaginée par Privat de Molières. *Histoire de l'Académie des Sciences* 1729, p. 121-122.

(2) *Problème physico-mathématique, dont la solution tend à servir de réponse à une des objections de M. Newton contre la possibilité des tourbillons célestes*, in *Mémoires de l'Académie des Sciences* 1729, p. 333 et suiv.

Molières espérait aboutir dans sa tentative en acceptant les idées de Malebranche sur les petits tourbillons (1).

« Je pense, ajoutait-il encore (2), que pour donner à ses conclusions toute la solidité qu'elles méritent, il est nécessaire de pousser plus loin son idée et d'admettre dans la division actuelle de la matière une progression à peu près semblable à celle que nos nouveaux géomètres ont reconnu dans sa divisibilité ; car il est à présumer que l'Auteur de la Nature s'est procuré dans la construction de son ouvrage, s'il est possible de le faire, les mêmes avantages que l'hypothèse des infiniment petits de tous les genres procure aux géomètres de notre temps. » Par conséquent, « je supposerai que les petits tourbillons que le P. Malebranche a substitués aux globules de Descartes, et que j'appellerai tourbillons du premier genre, sont eux-mêmes composés d'autres tourbillons incomparablement plus petits, que j'appellerai tourbillons du second genre, et qui remplissent non seulement toute la capacité des premiers, mais encore tous les espaces angulaires qu'ils laissent entre eux ; et que ces tourbillons du second genre forment tous ensemble un second milieu élastique qui occupe tout l'Univers et dont les forces centrifuges et les vibrations sont autant différentes et indépendantes des forces centrifuges et des vibrations du milieu que forment les tourbillons du premier genre, que les forces centrifuges et les vibrations de celui-ci le sont de celles des grands tourbillons de Descartes.

(1) Il se préoccupait d'ailleurs d'établir la possibilité de tels tourbillons. « Nous avons démontré dans le mémoire de 1728, rappelait-il, que tous les points d'un tourbillon compris dans une même superficie sphérique tendaient avec une égale force à s'éloigner du centre de leur mouvement, tant ceux qui étaient vers l'équateur, que ceux qui étaient vers les pôles, et qu'ils continuaient chacun à circuler toujours avec la même vitesse. D'où il suit que le tourbillon résiste également de toutes parts à sa destruction, et qu'il peut par conséquent se conserver parmi d'autres tourbillons, de quelque façon qu'ils soient situés à son égard ; ce qui rend le système des petits tourbillons très possibles. » (*Op. cit.*, p. 335).

(2) *Op. cit.*, p. 344.

« Que ces tourbillons du second genre sont encore composés de tourbillons d'un troisième genre, qui forment tous ensemble un troisième milieu élastique, qui a le même rapport au second, que le second au troisième, et ainsi de suite tant qu'il sera nécessaire de pousser la division et subdivision de la matière pour rendre raison de quelque phénomène ; de telle sorte que ce ne sera que lorsqu'un problème mécanique que je me serai formé sur l'inspection de quelque phénomène de la Nature, ne pourra être résolu par le moyen des tourbillons du premier genre et du milieu qu'ils composent, que j'aurai recours aux tourbillons du second genre, et au milieu qu'ils forment, et ainsi de suite ; suivant en cela la méthode de Descartes, qui consiste à ne pas chercher à résoudre un problème géométrique par les sections coniques, ou par d'autres lignes encore plus composées, lorsqu'il est de nature à pouvoir être résolu par le cercle et la ligne droite. » (1)

Aussi ne fut-il pas obligé de faire appel ici à d'autres petits tourbillons que ceux mêmes de Malebranche. En effet, « un tourbillon quelconque tend toujours par sa force centrifuge à s'étendre, à augmenter sa sphère ; et si deux tourbillons qui se touchent ont des forces centrifuges inégales, le plus fort s'étendra et s'agrandira aux dépens du plus faible, c'est-à-dire qu'il prendra quelque portion de la matière qui avait appartenu à l'autre. D'un autre côté, il y a plus de force centrifuge dans la partie inférieure du grand tourbillon elliptique que dans la supérieure, et cela selon les degrés de la vitesse, toujours proportionnée aux distances du foyer, par rapport auquel se fait la circulation. Si l'on conçoit donc qu'un petit tourbillon passe de la partie inférieure du grand dans la supérieure, il passe d'un lieu où il y a plus de force centrifuge dans un lieu où il y en a moins, il rencontre toujours d'autres petits tourbillons qui en ont moins que lui et par conséquent il s'agrandit à leurs dépens, jusqu'à ce qu'enfin s'étant agrandi autant

(1) *Op. cit.*, p. 345-346.

qu'il est possible, il perde tout ce qu'il avait acquis en repassant de la partie supérieure de l'ellipse dans l'inférieure. Cela suffit pour faire entendre comment la grandeur des petits tourbillons se proportionne naturellement, selon tous les degrés requis, aux espaces par où ils doivent passer, sans qu'il soit besoin d'un changement de vitesse, qui troublerait la règle établie. » (1)

Cependant l'explication même soulevait une nouvelle difficulté, que Privat de Molières aurait assurément aperçue lui-même, si l'on ne s'était bien vite ingénié à la lui opposer. En tenant compte, en effet, de la destruction mutuelle des mouvements contraires, « l'on conclut que, s'il faut qu'à chaque instant la matière, qui passe le plus souvent en sens contraire d'un de nos petits tourbillons dans l'autre, perde de sa vitesse, il y a tout lieu de craindre que toute la force du grand tourbillon ne soit bientôt dissipée. » (2)

Mais Privat de Molières, après avoir remarqué que l'agrandissement d'un petit tourbillon, par cela même qu'il est dû à la force centrifuge, doit s'opérer suivant la direction du centre à la circonférence, s'estimait autorisé à penser que le mouvement composé résultant de la rencontre de deux petits tourbillons doit se faire selon une courbe. S'appuyant alors sur des

(1) *Histoire de l'Académie des Sciences* 1729, p. 123-124. « On peut recueillir de ce que nous venons de dire que dans toutes les moindres parties sensibles de l'étendue d'un grand tourbillon, il se fera un sassement et resassement continuel des moindres parties de la matière qui le compose, lesquelles passeront et repasseront sans cesse par un mouvement subit et rebroussé d'un des petits tourbillons dans l'autre ; et que ce mouvement pourra déterminer certaines parties de la matière engagées dans les moindres coins et recoins qui sont parmi tous ces petits tourbillons, à se dégager des endroits où elles auront pû se former, et à se précipiter en foule de tous les points du grand tourbillon au centre commun. Effet qui peut servir de principe pour rendre raison de plusieurs phénomènes généraux de la nature, tels que sont l'entretien de la chaleur et de la lumière du soleil, de la fécondité de la terre, etc. » (*Mémoires de l'Académie des Sciences* 1729, p. 339-340).

(2) PRIVAT DE MOLIÈRES, *Op. cit.*, p. 340.

travaux de Varignon (1), établissant que les pertes de vitesse faites dans des mouvements selon des courbes sont infiniment petites à chaque instant fini et qu'il en faudrait par conséquent une infinité, qui demanderait un temps infini, pour faire une somme finie, il concluait que « ni la matière du tourbillon qui s'agrandit, ni celle du tourbillon qu'il entraîne en s'agrandissant, ne perdent aucune partie finie de leurs vitesses. » (2)

38. — Si le caractère même du débat imposait la plupart du temps aux cartésiens une attitude défensive, ils ne manquaient pas cependant de soulever autant que possible des objections contre les théories de Newton. Aussi était-ce par des difficultés apportées au système newtonien que commençait le mémoire présenté à l'Académie par Dortous de Mairan en 1729 (3).

La première de ces difficultés était ainsi formulée : « Le mouvement général d'occident en orient du tourbillon solaire, et les principes des forces centrales, communs à l'un et à l'autre des deux fameux systèmes qui partagent aujourd'hui les savants, étant une fois supposés, on ne peut plus demander dans le système cartésien, pourquoi toutes les planètes tournent périodiquement autour du soleil, et pourquoi elles tournent toutes en même sens d'occident en orient. Car il est clair qu'elles doivent suivre la direction commune des couches du fluide où elles sont plongées, qui les entraîne, et qui tourne d'occident en orient. Mais l'on serait très fondé à demander la raison de ce mouvement, et de cette uniformité, dans le sys-

(1) *Manière de discerner les vitesses des corps mus en lignes courbes, de trouver la nature ou l'équation de quelque courbe que ce soit engendrée par le concours de deux mouvements connus ; et réciproquement de déterminer une infinité de vitesses propres deux à deux à engendrer ainsi telle courbe qu'on voudra, et même telle vitesse qu'on voudra suivant cette courbe*, in *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1704, p. 394 et suiv.

(2) *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1729, p. 342.

(3) *Nouvelles conjectures sur la cause du mouvement diurne de la terre sur son axe d'occident en orient*, in *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1729, p. 54 et suiv.

tème newtonien. Car, comme, dans ce système, tous les corps planétaires qui se meuvent autour du soleil décrivent immédiatement par eux-mêmes leurs orbites, et dans un vide immense, on ne voit rien qui les contraigne de se mouvoir, ni qui les assujettisse à se mouvoir tous vers le même côté ; rien par exemple qui empêche l'un de faire sa révolution d'orient en occident, tandis que l'autre fait la sienne d'occident en orient, ou même du nord au sud, et du sud au nord, ainsi qu'on croit qu'il arrive aux comètes, et dont on n'a pas manqué par cela même, de tirer avantage pour le vide et contre les tourbillons. » (1)

C'était en somme retourner l'objection, en disant aux newtoniens : vous reprochez au cartésianisme de ne pouvoir rendre compte des comètes rétrogrades (à supposer d'ailleurs qu'il en existe) parce que leur mouvement se trouverait opposé à celui de la circulation tourbillonnaire. Mais il est un fait bien plus constant dont vous ne vous souciez pas de rendre compte, et dont l'explication semble bien pourtant une condition préalable de toute explication générale du mécanisme de l'Univers : c'est l'uniformité du sens de circulation des planètes dans leurs orbites, fait pour ainsi dire fondamental de toute l'astronomie.

Le mouvement diurne de rotation de la terre (comme apparemment de toute autre planète principale) fournissait le principe d'une seconde objection contre le système newtonien. En

(1) *Op. cit.*, p. 54-55. « Le mouvement annuel de toutes les planètes sans exception, toujours dirigé d'occident en orient, est une des plus fortes preuves des tourbillons de Descartes, insistait de son côté Fontenelle. (*Histoire de l'Académie des Sciences* 1729, p. 69). Rien n'est ni plus naturel, ni plus conforme à la raison exacte, que de concevoir que cette direction n'est commune à toutes les planètes que parce qu'elle est celle d'un grand fluide qui tourne autour d'un centre, et qui les entraîne toutes. Qu'on anéantisse ce fluide, qu'on les mette dans un grand vide, où l'on fera agir tant qu'on voudra les forces centrifuges ou centripètes, et les attractions, on ne trouvera plus aucun principe d'une direction commune aux mouvements annuels de toutes les planètes ; il leur sera permis d'aller les unes en un sens, les autres en un autre ; les plus grandes contrariétés dans leur cours, une espèce de chaos, pourront être l'état naturel. »

effet, « les forces centripètes et centrifuges, dans l'hypothèse des attractions, par exemple, laissent la planète tout à fait en repos à cet égard ; du moins on ne voit pas pourquoi elles la détermineraient à tourner sur son axe plutôt vers un côté que vers l'autre. Ce repos semblerait même avoir dû se trouver bientôt affermi par la figure un peu oblongue que tous les globes des planètes auraient dû prendre vers le soleil, en vertu de la force attractive qui y fait tendre toutes leurs parties. Et c'est aussi la figure que M. Newton (*Principia*, livre III, prop. 38) attribue à la lune sur celui de ses axes qui est dirigé vers la terre, centre ou foyer de son orbite ; d'où il tire la raison pourquoi elle ne tourne pas par rapport à ce centre, et pourquoi elle nous présente toujours à peu près la même face. » (1)

Mais, si ce mouvement diurne de rotation de la terre apparaissait comme une difficulté pour le système newtonien, il mettait encore le système des tourbillons dans une situation plus critique « puisque, de la manière dont on s'en est servi jusqu'ici pour l'explication de ce phénomène, il en faudrait conclure un mouvement tout contraire à celui de la rotation des planètes, et les faire tourner sur elles-mêmes d'orient en occident... Car la règle de Képler étant une fois admise, comme il paraît qu'on ne saurait plus se dispenser de l'admettre, quelque hypothèse que l'on suive d'ailleurs, il faut nécessairement que la couche inférieure du fluide qui emporte la planète ait plus de vitesse que la couche supérieure, et par là qu'elle fasse tourner la partie inférieure de la planète vers le même côté et selon la même direction que le fluide : ce qui donnera à sa partie supérieure, la plus éloignée du centre, une direction contraire à la précédente, et par conséquent la fera tourner d'orient en occident. » (2)

Villemot, qui s'était déjà préoccupé de cette question, avait supposé l'action de quelque reflux qui neutraliserait l'action

(1) *Op. cit.*, p. 55-56.
(2) *Op. cit.*, p. 56-57.

du fluide dans certaines conditions ; mais cette hypothèse toute gratuite ne semblait guère apporter une solution satisfaisante au problème, de l'avis même des cartésiens. Poleni et, plus récemment, Bulffinger, avaient reconnu la difficulté ; et, si les expériences de tourbillon artificiel réalisées par Saulmon (§ 12) lui avaient fourni à ce point de vue des résultats intéressants, nous avons vu que Fontenelle lui-même conseillait une extrême prudence dans la transposition éventuelle de ces résultats du tourbillon artificiel aux tourbillons célestes (1). Aussi Dortous de Mairan ne faisait-il même pas dans son mémoire une référence à ce travail de Saulmon.

« On pourrait supposer, et c'est une idée très physique, proposait sans conviction Fontenelle (2) que les planètes ne sont

(1) On pourrait en dire autant des *Explications nouvelles des mouvements les plus considérables de l'univers, accompagnées de démonstrations par le jeu de différentes machines qui les imitent*, publiées en 1723 par MATHULON. Après avoir expliqué le mouvement de rotation de la terre par une rupture d'équilibre provenant de l'action de la chaleur solaire sur l'air dont la terre est environnée, « M. Mathulon donne les mêmes causes au mouvement annuel qui la fait tourner autour du soleil, et sans chercher à prouver son opinion par le raisonnement, il a recours à une expérience qu'il regarde comme décisive. Cette expérience gît à faire mouvoir en rond dans de l'eau un corps qui y surnage, car ce corps avancera sur la surface de l'eau, du côté et du sens qu'il tournera sur son centre : ce qui se fait bien plus facilement dans la nature, dit notre auteur, puisque la matière dans laquelle les corps se meuvent résiste moins que l'eau, et que décrivant un cercle, le moindre ébranlement peut les déterminer, n'appuyant, pour ainsi dire que sur un point.

« Ainsi, selon M. Mathulon, ce ne sera plus, comme on l'a supposé jusqu'ici, le mouvement du tourbillon, qui se communiquera aux corps que le tourbillon renferme, mais ce sera le mouvement particulier de chaque corps qui fera le mouvement du tourbillon. Cette explication paraît d'autant plus naturelle à notre auteur, qu'il lui semble qu'en la supposant, on ne doit plus être surpris de la différence considérable qui se trouve dans les divers mouvements des corps qui tournent autour du soleil, puisque ces corps ne participent plus au mouvement commun. » (*Journal des Savants*, 1724, p. 408).

« Le même Mathulon, remarque Lalande (*Bibliographie Astronomique*, p. 378), prétendait avoir aussi la quadrature du cercle et le mouvement perpétuel : cela suffit pour juger de ses démonstrations astronomiques. »

(2) *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1729, p. 70.

pas d'une matière uniforme, ni également distribuée autour de leur centre de figure. En ce cas-là, elles ont un centre de gravité différent de celui de figure ; et comme, par une loi de mécanique, le centre de gravité descend toujours ou se place le plus bas qu'il est possible, lorsqu'une planète est en équilibre, ainsi qu'il faut la concevoir dans le tourbillon, ou plus précisément dans les couches du tourbillon qui l'embrassent et l'emportent, son centre de gravité se place plus bas par rapport au soleil que le centre de figure ; car le soleil est le centre de la pesanteur universelle du tourbillon, et des planètes qui en sont comme des parties. De là il suit que, si on tire par le centre du soleil au centre de figure de la planète une ligne, et à cette ligne une perpendiculaire qui passe par le centre de figure de la planète, et y détermine deux hémisphères égaux, l'un supérieur par rapport au soleil, l'autre inférieur, le supérieur se trouvera plus léger, puisqu'il sera tout entier au-dessus du centre de gravité. Il aura donc moins de masse, et par conséquent le fluide y fera plus d'impression, et le fera tourner plus aisément. »

Cependant l'objection ne pouvait échapper à Fontenelle, qui, aussitôt après avoir exposé ainsi l'idée, ajoutait : « Mais sans compter qu'il faudrait encore avoir égard à une moindre vitesse du fluide qui frappe l'hémisphère supérieur, il ne s'ensuit pas de là tout ce qu'on voudrait. Il arrivera seulement que le fluide, qui aura poussé avec plus de force d'occident en orient l'hémisphère supérieur, lui donnera vers l'orient une certaine inclinaison qu'il n'avait pas, le centre de gravité ne sera plus, comme il était, dans la ligne tirée du centre du soleil au centre de figure de la planète, il en sortira un peu, et montera d'autant vers l'occident; par conséquent la partie la plus pesante de la planète montera aussi un peu vers l'occident, et il s'en présentera une plus grande étendue au fluide qui vient de ce côté-là, jusqu'à ce qu'il ait perdu tout l'avantage qu'il avait dans le premier cas. Mais ces effets une fois produits, il n'y aura rien de plus, puisque tout sera en équi-

libre, la planète ira dans sa nouvelle situation ou position par rapport à la couche où elle est, et conservera cette position, puisqu'aucune cause ne tend à l'en faire sortir. Elle ne tournera donc pas sur elle-même. il faudrait pour cela une cause dont l'action se renouvelât toujours, et qui ne fût, pour ainsi dire, jamais satisfaite. » (1)

39. — C'est à la découverte d'une telle cause que visait la théorie ingénieuse de Dortous de Mairan, qui imaginait dans les deux hémisphères une différence de poids tenant non plus à leur nature mais simplement à leur position, c'est-à-dire susceptible de ce fait de changer de sens au cours de déplacements de ces hémisphères. « Mon explication, résumait-il lui-même (2), roule principalement sur deux suppositions, dont l'une me paraît généralement reçue aujourd'hui et l'autre peut être aisément démontrée, si elle ne l'a déjà été. » La première supposition n'était autre que la loi même de Newton sur la pesanteur en raison inverse du carré de la distance pour tout corps pesant vers un point central. Certes Dortous de Mairan faisait des réserves sur la cause même de la pesanteur, qu'il prétendait n'être pas obligé de déterminer pour admettre cette supposition ; mais, en écartant par là tout recours à l'attraction, il ne s'éloignait pas autant qu'il le pensait de Newton, si disposé à voir dans cette attraction bien moins une force réelle agissant en vertu de quelque qualité occulte de la matière que l'expression mathématique d'un phénomène donné dans l'expérience. Nous avons vu antérieurement d'ailleurs Dortous de Mairan emprunter à plusieurs reprises des idées à Newton ; et se fût-il ici rencontré avec ce savant sans trop de dessein, que cette nécessité pour un cartésien d'aller chercher chez Newton même des principes pour la défense du cartésianisme n'en serait que plus remarquable.

(1) *Op. cit.*, p. 71-72.
(2) *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1729, p. 57.

Car c'était bien à une explication tourbillonnaire que Dortous de Mairan pensait pouvoir retourner après ce détour dans le domaine d'une physique inspirée plus ou moins directement de Newton. En effet, la deuxième supposition se trouvait ainsi formulée : « Tout corps dont les parties sont de différent poids, s'il est plongé dans un fluide où il nage, et qui soit en repos à son égard, tourne sa partie la plus pesante vers le point central de la pesanteur. Et si ce corps se meut dans le fluide, et qu'il en déplace les parties par son mouvement, selon une direction quelconque, par exemple selon la direction horizontale, perpendiculaire à celle de la pesanteur, ce sera la partie la plus pesante qui marchera la première selon la direction horizontale; comme au contraire si ce corps est supposé en repos, et que ce soit le fluide qui se meuve contre lui, et qui l'entraîne, ce sera sa partie la moins pesante qui sera tirée la première du repos et qui ira devant. De sorte qu'en général ce sera toujours la partie la plus pesante du corps flottant qui sera tournée vers le terme d'où vient le fluide, selon sa vitesse actuelle ou relative ; et la partie la plus légère vers le terme où va le fluide. » (1)

Dès lors, en convenant d'appeler « effort relatif du fluide », « cet effet qui résulte de l'impulsion du fluide et de la masse qu'il a à déplacer », ou encore « l'efficacité ou l'énergie de ses impulsions », Dortous de Mairan aboutissait à cette « Proposition fondamentale : je dis donc que l'effort relatif du fluide contre l'hémisphère supérieur du globe est plus grand que son effort relatif contre l'hémisphère inférieur. » (2)

(1) *Op. cit.*, p. 58-59.

(2) *Op. cit.*, p. 65. Il est bon de remarquer que l'effort relatif était calculé en tenant compte du fait que le fluide qui frappe l'hémisphère supérieur a moins de vitesse que le fluide qui frappe l'hémisphère inférieur. Le calcul pouvait donc amener soit à reconnaître une insuffisance de l'impulsion donnée par le fluide supérieur pour profiter de la moindre résistance au mouvement value à l'hémisphère supérieur par sa moindre pesanteur, soit à admettre une compensation de la moindre résistance de l'hémisphère supérieur et de la moindre vitesse du fluide correspondant, soit enfin à formuler la loi obtenue par de Mairan.

Qu'il y eût bien là un principe de rotation perpétuelle, cela résultait de ce que, par la rotation, l'hémisphère supérieur étant devenu inférieur et ayant de ce fait acquis une pesanteur plus grande, et inversement, l'effort relatif du fluide devait indéfiniment s'exercer de la même manière et entretenir la rotation du globe dans le même sens.

Une première objection, prévue par de Mairan, pouvait être tirée de l'impossibilité d'expliquer ainsi, sinon le fait de la rotation, au moins la constance de la vitesse dans ce mouvement. Certes Dortous de Mairan ne faisait aucune difficulté d'admettre que la terre n'avait pu prendre sa vitesse de rotation que progressivement, mais il pensait qu'une fois arrivée à un certain point, cette vitesse devait demeurer constante, non seulement par l'effet des impulsions réitérées du fluide, mais aussi par l'action du tourbillon particulier de la terre (1).

« On ne doit pas avoir de scrupule sur ce que la vitesse de rotation devrait varier, aussi bien que les distances de la planète au soleil qui varient toujours par l'excentricité des orbites, ou leur figure elliptique. Cela est vrai à la rigueur ; mais on trouvera aisément par le calcul que la plus grande différence des distances ne produirait qu'à peine une seconde de différence dans le temps de la rotation, du moins pour les rotations connues. De plus, s'il faut du temps au fluide, comme nous l'avons dit, pour imprimer à la planète avec une force supposée toujours égale une certaine vitesse de rotation, il lui faut du

(1) Tout en reconnaissant cette influence du tourbillon particulier et en s'y référant ainsi explicitement, Dortous de Mairan tenait à mettre en garde contre une exagération. En effet, « quelle que soit cependant cette activité des tourbillons particuliers des planètes et quelque part qu'on leur donne à la révolution diurne qu'elles font sur elles-mêmes, il faut toujours en venir à une cause générale et unique, pour déterminer ce principe intérieur de mouvement à s'exercer dans toutes vers le même côté du monde. Car quelle serait sans cela la cause d'une telle uniformité ? et pourquoi le tourbillon de chaque planète serait-il déterminé par lui-même et indépendamment de toute impression extérieure de la part du fluide déférent, à tourner vers le même côté que lui ? » (*Op. cit.*, p. 68).

temps aussi pour causer l'accélération de cette vitesse, et le temps où il pourrait causer cette accélération est assez court par rapport à celui de la révolution annuelle, outre que dans ce temps-là même il agit toujours inégalement à cet égard, ne soutenant plus ou détruisant dans une partie de ce temps ce qu'il aurait fait dans l'autre. Ce sera la même chose renversée pour le retardement de la vitesse. » (1)

Dortous de Mairan trouvait encore dans le tourbillon particulier de la terre un moyen d'éliminer cette nouvelle cause possible de perturbation dans la constance du mouvement diurne. Si l'on fait intervenir l'action d'un tel tourbillon, « le tourbillon solaire ne fait plus alors qu'entretenir dans l'état actuel le mouvement acquis, tant périodique que de rotation, vers le côté où il les a d'abord déterminés : mais avec cette différence que le tourbillon solaire entretient seul le mouvement périodique, tandis que le mouvement de rotation peut se trouver entretenu aussi par le tourbillon particulier, et avec beaucoup plus de force que par le tourbillon général. Les variations de vitesse dans le fluide qui compose ce dernier pourront donc influer sur le mouvement périodique, sans que le mouvement diurne de la planète en soit troublé sensiblement; et ce que celui-ci en ressentira ne sera proprement qu'une fraction de fraction, qu'on pourra faire presque aussi petite qu'on voudra, selon le rapport des forces actuelles des deux tourbillons, à l'égard du mouvement diurne, parce que ce rapport nous est inconnu. » (2)

Encore fallait-il déterminer, pour généraliser cette idée à toutes les planètes, la vitesse relative de rotation ; et sur ce point, Dortous de Mairan calculait que « toutes choses d'ailleurs égales, la vitesse de rotation d'une planète sera en raison composée, directe de son diamètre et inverse de sa distance. » (3) Nouvelle difficulté cependant à ce sujet, en raison de l'incli-

(1) *Histoire de l'Académie des Sciences* 1729, p. 75-76.
(2) *Mémoires de l'Académie des Sciences* 1729, p. 70-71.
(3) *Op. cit.*, p. 73.

naison des axes des planètes sur les plans de leurs orbites (1); car « alors le diamètre par lequel le fluide frappe la planète, qui est toujours perpendiculaire à l'axe de rotation, et qui était frappé perpendiculairement par le courant du fluide, ne le sera plus qu'obliquement, et ce sera la même chose quant à l'effet que si ce diamètre, demeurant toujours dans sa première situation supposée, était devenu réellement plus petit; il donnera également moins de prise à l'action du fluide, et sera moins poussé. » (2) Non seulement Dortous de Mairan donnait la mesure de cette diminution, mais l'application de son calcul à Jupiter donnait des résultats tout à fait en accord avec les observations.

Dortous de Mairan ne s'arrêtait pas d'ailleurs à cette explication générale du mouvement de rotation des planètes ; il y ajoutait une autre méthode non moins ingénieuse d'atteindre le même résultat, en montrant qu'indépendamment de l'inégalité de pesanteur des deux hémisphères, une planète devait tourner selon la direction du tourbillon général.

En effet, « la grandeur du tourbillon, qu'on a besoin de considérer ici, étant déterminée par la distance où la planète est du soleil, ou point central, si le tourbillon est infini, les lignes par lesquelles il frappe un hémisphère de la planète ne sont que des droites parallèles, qui n'ont pas plus d'action sur la moitié supérieure du diamètre frappé que sur l'inférieure, ni sur l'inférieure que sur la supérieure, et par conséquent ne peuvent déterminer la planète à tourner ni d'un sens ni de l'autre, mais seulement l'emportent selon leur courant. Si au contraire le tourbillon est infiniment petit, c'est-à-dire s'il est

(1) On pourrait aussi tenir compte d'une différence entre la direction générale du mouvement du fluide et le plan des orbites des diverses planètes. « Mais il est vrai que les plans des orbites des planètes, différents entre eux, le sont assez peu, qu'ils sont tous resserrés et renfermés dans une étendue de peu de largeur, qui comprend sans doute l'Equateur du tourbillon général, d'où il ne leur est guère permis de s'écarter, et qu'il ne peut y avoir guère d'erreur à les supposer dans cet équateur. » (*Histoire*, p. 78).

(2) *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1729, p. 79.

infiniment petit pour un tourbillon, s'il ne fait qu'embrasser la planète dont le diamètre sera égal à son rayon, et qui par un des points de sa circonférence touchera le point central, alors la planète ne sera frappée que par des arcs circulaires, dont les directions obliques sur l'hémisphère de la planète étant décomposées pour n'en prendre que ce qu'elles auront de perpendiculaire, on verra que les perpendiculaires, qui naîtront de cette décomposition, iront toutes frapper l'extrémité supérieure du diamètre exposé au fluide. La planète tournera donc bien sûrement selon la direction du fluide, puisqu'elle n'en recevra d'impulsion que par sa partie supérieure. Donc dans tous les cas qui sont depuis celui-là jusqu'à celui du tourbillon infini, où elle ne recevrait pas plus d'impulsion par sa partie supérieure que par l'inférieure, il ne peut arriver autre chose, sinon que la planète recevra toujours plus d'impulsion par sa partie supérieure, mais que ce plus sera toujours moindre à mesure que les tourbillons seront plus grands, ou les planètes plus éloignées du soleil. » (1)

Peut-être n'eût-on pas attendu beaucoup pour opposer à Dortous de Mairan comme une anomalie dans son système l'absence de rotation chez certains astres. Mais lui-même, après avoir remarqué que cette absence n'était constatée chez aucune des planètes principales, pensait pouvoir en rendre compte dans le cas des satellites, et notamment de la lune, par une considération importante : « Si l'on suppose les parties d'une planète d'une pesanteur spécifique différente, sensiblement plus grande dans un hémisphère que dans l'autre, et en plus grande raison que l'effort relatif du fluide qui la doit faire tourner sur elle-même, elle prendra une situation constante, par rapport à la direction du fluide qui l'entraîne, ou aux tangentes de l'orbite, et elle ne tournera point sur elle-même. » Et il ajoutait : « Si l'hémisphère de la lune qui est toujours tourné vers nous, se trouve spécifiquement et sensiblement plus pesant que celui

(1) *Histoire de l'Académie des Sciences* 1729, p. 82-83.

qui nous est caché, ainsi que M. Auzout, M. Huygens et quelques autres savants hommes l'ont cru, il ne faut point chercher ailleurs la cause du phénomène et pourquoi la lune nous présente toujours à peu près la même face. » (1)

Bien plus, « la position du globe d'une planète par rapport au fluide déférent, et dans le cas ci-dessus, ne peut être constante qu'autant que la vitesse du fluide demeure telle ; et cette vitesse devant changer, comme on sait, dans toute orbite elliptique, ou excentrique, telle que l'orbite de la lune, en raison inverse des racines de ses distances actuelles au point central, il suit que le globe de la lune ne saurait avoir une position constante, eu égard à la terre ; mais que par une espèce de balancement sur son centre de gravité et dans le sens de sa longitude, tantôt elle nous présentera un peu de l'hémisphère qui nous est ordinairement caché, et tantôt elle nous cachera un peu de celui qu'elle tourne ordinairement vers nous, et cela plus ou moins, selon l'inégalité de vitesse du fluide qui l'entraîne. » (2) Aussi Dortous de Mairan estimait-il nécessaire de reconnaître cette libration réelle et physique à côté de la libration apparente et optique étudiée par Cassini. C'était même d'après lui le seul moyen d'éviter encore une objection possible, de ce point de vue, contre le système tourbillonnaire.

40. — Tandis que Privat de Molières et Dortous de Mairan unissaient leurs efforts pour la défense des tourbillons cartésiens (3), la comète de 1729 apportait à Cassini et à Fontenelle

(1) *Op. cit.*, p. 89-90. Il donnait encore cette comparaison : « Un géomètre qui, étant placé au centre du globe terrestre supposé transparent, verrait faire le tour de ce globe à un vaisseau dont il n'apercevrait jamais que le fond ou la carène, malgré les vents et les impulsions latérales qui le font marcher, jugerait avec raison que c'est parce que la carène est plus chargée ou plus pesante que la partie supérieure du vaisseau qui lui est toujours cachée. » (*Op. cit.*, p. 90).

(2) *Op. cit.*, p. 91.

(3) Nous pouvons nous contenter de signaler un autre ouvrage inspiré de la théorie des tourbillons, celui de PETIT : *Traité de l'Univers matériel ou Astronomie physique*, 1 vol. in-12. Paris 1729. Le caractère complexe et un

l'occasion d'insister de nouveau sur l'accord de l'hypothèse tourbillonnaire avec le mouvement des comètes rétrogrades.

Nous avons vu déjà (§ 29) comment Cassini, à la grande satisfaction de Fontenelle, avait proposé de voir dans la rétrogradation des comètes un phénomène semblable à celui de la rétrogradation des planètes, c'est-à-dire en somme une apparence due à certaines combinaisons de mouvements, sans qu'il y ait translation réelle de l'astre dans le sens indiqué par les observations.

« Rien ne pouvait être plus heureux pour cette théorie que la comète de cette année, écrivait Fontenelle en 1729 (1) ; car ayant paru d'abord se mouvoir d'orient en occident, et ensuite d'occident en orient, elle a été précisément dans le cas d'une planète qui, après avoir été rétrograde un certain temps, redevient directe. Si la comète n'avait eu que le mouvement rétrograde pendant tout son cours visible, on pourrait croire qu'elle n'aurait que ce mouvement, et on l'a cru en effet de celles qui étaient dans ce cas; mais elle a eu les deux mouvements contraires, et par conséquent l'un des deux n'a été qu'apparent, et il est permis de supposer que c'était le rétrograde, pourvu que d'ailleurs tout s'accorde à cette idée. »

Après en avoir minutieusement observé les mouvements et déterminé les caractéristiques en 1729 (2), Cassini reprit encore

peu fantaisiste des explications proposées nous dispense d'insister sur ce travail dédié par l'auteur aux membres de l'Académie des Sciences. « Je conçois, disait-il (p. 37), quatre espèces de matières dans chaque tourbillon ; je conçois aussi que le tourbillon du soleil dans toute son étendue est pleinement rempli par ses quatre espèces de matières, et par celle de toutes les planètes qu'il renferme ; ainsi je n'y admets aucun vide, et de même de tous les tourbillons des étoiles fixes. » Le chapitre IV établissait ensuite « que les matières sont différentes en chaque tourbillon » (p. 59). La pesanteur était représentée comme l'effet d'un rebroussement vers le centre des matières parvenues les premières aux extrémités du tourbillon.

(1) *Histoire de l'Académie des Sciences*, p. 95.

(2) *De la comète qui a commencé à paraître à la fin du mois de juillet de cette année* 1729 in *Mémoires de l'Académie des Sciences*, p. 573 et suiv.

la question l'année suivante (1). Revenant spécialement sur le caractère d'apparence du mouvement rétrograde, il pensait pouvoir démontrer exactement la réalité du mouvement direct attribué à cette comète comme plus vraisemblable.

« On suppose pour cela que les étoiles fixes, avec lesquelles on compare les comètes pour déterminer leur situation dans le ciel et à l'égard de l'écliptique, sont à une distance si grande, que le chemin que la terre parcourt sur son orbe dans l'espace de plusieurs jours n'y a aucun rapport sensible.

« Cette supposition doit être admise, puisque, dans les recherches les plus exactes qui ont été faites pour déterminer la distance des étoiles fixes à la terre par le moyen de son mouvement sur son orbe annuel, l'angle que font entre elles deux lignes tirées d'une étoile fixe à la terre placée aux deux extrémités de cet orbe à la distance de plus de 60 millions de lieues a été trouvé à peine d'une minute de degré.

« Suivant ce principe, on peut considérer toutes les lignes tirées de la terre en différents endroits de son orbe à une même étoile fixe, comme des parallèles éloignées l'une de l'autre d'un intervalle mesuré par la quantité du mouvement de la terre de l'Occident vers l'Orient.

« S'il se trouve donc qu'une comète, après avoir passé près d'une étoile fixe, retourne à cette étoile après quelque espace de temps, ou, ce qui revient au même, si elle retourne au même point de l'écliptique où elle était quelques jours auparavant, il en résulte nécessairement qu'elle s'est avancée, de même que la terre, de l'occident vers l'orient, d'une quantité comprise entre les deux parallèles tirées de la terre au même point de l'écliptique, qui sera plus ou moins grande, suivant la différente direction et inclinaison de l'orbe de la comète.

« C'est ce qui est arrivé dans le cours de nos observations.

(1) *Suite des observations de la comète qui a commencé à paraître à la fin de juillet de l'année* 1729 in *Mémoires de l'Académie des Sciences* 1730, p. 406 et suiv.

pendant lequel nous l'avons vue répondre successivement aux mêmes lieux de l'écliptique, où elle s'est trouvée dans les précédentes observations. Ainsi il est démontré que cette comète, rétrograde en apparence, avait un mouvement réel de l'occident vers l'orient. » (1)

Mais le mouvement rétrograde, ainsi nettement écarté pour cette comète, n'en conservait pas moins quelque probabilité pour d'autres, telles que celle de 1698, celle de 1702 et celle de 1706. Cassini, au lieu de feindre d'ignorer dès lors la difficulté, s'attacha au contraire à y donner quelque explication.

« La comète du mois d'avril de l'année 1702 est remarquable entre les autres, précisait-il (2), en ce que son mouvement journalier était au commencement de son apparition de 15 degrés contre la suite des signes, le lieu de la terre étant éloigné de celui de la comète d'environ trois signes, qui est la situation où les planètes paraissent stationnaires.

« On peut représenter cependant avec assez de précision son cours et lui attribuer un mouvement réel suivant la suite des signes, en supposant qu'elle était placée au commencement de son apparition beaucoup plus près de la terre que du soleil, ce qui d'ailleurs s'accorde assez bien à la rapidité de son mouvement apparent, qui était quinze fois plus grand que celui de la terre. Car cette comète étant au moins aussi éloignée du soleil que la terre l'est de cet astre, comme il est aisé de le démontrer, il y a lieu de supposer que son mouvement réel à l'égard du soleil n'était pas à beaucoup près si grand que celui que l'on y a observé, et que sa rapidité apparente n'était causée que par sa proximité de la terre, ce qui se trouve d'ailleurs confirmé par la parallaxe que MM. Bianchini et Maraldi y ont observée de 13 minutes.

« On trouvera de même qu'on peut représenter également bien les mouvements rétrogrades des autres comètes dont nous

(1) *Mémoires de l'Académie des Sciences* 1730, p. 411-412.
(2) *Op. cit.*, p. 410.

venons de parler, en leur donnant un mouvement réel suivant la suite des signes. »

De toutes ces remarques Cassini concluait « que les mouvements de diverses comètes qui ont paru rétrogrades, ne peuvent point servir pour combattre le système de Descartes et celui des tourbillons, suivant lesquels les corps célestes doivent se mouvoir tous dans le même sens suivant la suite des signes. » (1) « Il ne faut donc pas se presser de croire, ajoutait de son côté Fontenelle (2), que les tourbillons soient détruits par les mouvements des comètes, qui y sont opposés ; et il y a au contraire une forte présomption, qu'ils se rétabliront parfaitement par l'explication de M. Cassini. »

Cette explication fut d'ailleurs poussée beaucoup plus loin encore par son auteur, dès l'année suivante. « Comme dans la dernière comète, qui a paru à la fin d'août de l'année 1729, j'ai fait voir que son mouvement, qui paraissait rétrograde, était réellement direct, suivant la suite des signes, ce qui a été même susceptible d'une démonstration exacte ; j'ai cru qu'il serait intéressant pour le système général des comètes, et même pour celui des tourbillons, d'examiner le mouvement de toutes les comètes que l'on a observées depuis plusieurs siècles, et si, nonobstant la rétrogradation apparente que l'on a remarquée dans le cours d'un grand nombre de ces comètes, on peut leur attribuer un mouvement direct avec autant ou plus de vraisemblance, qu'en les supposant réellement rétrogrades. » (3)

Fontenelle ne pouvait qu'approuver un tel dessein ; car « ce ne serait rien, insistait-il (4), que le mouvement rétrograde de la comète de 1729 ne fût qu'apparent, il faut qu'il en soit, ou qu'il en puisse être de même de tous les mouvements

(1) *Op. cit.*, p. 411.

(2) *Histoire de l'Académie des Sciences* 1730, p. 135.

(3) *Du mouvement véritable des comètes à l'égard du soleil et de la terre* in *Mémoires de l'Académie des Sciences* 1731, p. 423.

(4) *Histoire de l'Académie des Sciences* 1731, p. 77.

rétrogrades que l'on a vus à d'autres comètes ; il le faut pour l'uniformité, il le faudrait aussi pour l'intérêt des tourbillons cartésiens ; et quoique cet intérêt ne soit pas une raison, l'idée de ces tourbillons est digne qu'on souhaite de les conserver, ne fût-ce que par la crainte de ce qui leur succéderait. »

Dans son important mémoire, Cassini reprenant donc successivement l'examen de toutes les comètes bien observées depuis celle de 1472, en trouvait 39, dont 20 avaient paru avoir un mouvement direct et les 19 autres un mouvement rétrograde.

Or, « il n'y en a aucune parmi les rétrogrades, résumait Fontenelle (1), dont on ne puisse représenter le mouvement en le supposant toujours réellement direct, de la même manière dont le mouvement toujours direct de toutes les planètes solaires vient dans certaines circonstances à paraître rétrograde. Ces circonstances sont, pour les planètes supérieures, que la terre vienne à passer entre elles et le soleil, et pour les inférieures, qu'elles passent entre la terre et le soleil. L'apparence de la rétrogradation n'est pas bornée au moment de l'un ou de l'autre de ces passages, elle s'étend beaucoup en deça et au delà... Une comète peut se mouvoir toujours au-dessus de l'orbe annuel que la terre décrit autour du soleil, et en ce cas elle ne sera visible que quand elle sera la plus proche de cet orbe, et on la pourra considérer comme une planète supérieure. Si dans la partie visible de son cours elle est au-dessus ou en dedans de notre orbe annuel, c'est alors une planète inférieure. Elle aura donc les accidents de planète soit supérieure, soit inférieure, pourvu qu'elle soit dans les circonstances nécessaires à une planète, c'est-à-dire que, quoiqu'elle soit toujours réellement directe, elle paraîtra rétrograde pendant un certain temps avant et après le passage

(1) *Histoire de l'Académie des Sciences* 1731, p. 78.

de la terre entre elle et le soleil, ou avant et après son passage entre la terre et le soleil. » (1)

Fontenelle ne pouvait pour ainsi dire se lasser d'admirer l'ingéniosité de cette explication de Cassini, car « assez souvent on peut en plus d'une manière supposer direct un mouvement de comète qui aura paru rétrograde, et c'est une espèce d'avantage pour le système que M. Cassini soutient. Cela vient de ce que la distance réelle de la comète à la terre ou au soleil étant pour l'ordinaire absolument inconnue, on est le maître de regarder la comète dans la partie visible de son cours ou comme planète supérieure, ou comme planète inférieure, de mettre la terre entre le soleil et elle, ou de la mettre entre la terre et soleil, ou le soleil entre la terre et elle, la première de ces dispositions appartenant aux planètes supérieures, et les deux autres aux inférieures, et toutes trois faisant également l'effet de donner à un mouvement direct l'apparence de rétrograde. Mais il est rare que cette indétermination subsiste, quand on a égard à toutes les circonstances de la comète, à sa variation de grandeur et de vitesse apparentes, à la vitesse réelle qu'elle doit avoir selon la règle de Képler dans les lieux où on la met, etc. Quelquefois toutes ces circonstances sont si fortes en faveur d'un certain mouvement direct déterminé, et conditionné de certaine façon, qu'il n'est plus permis d'hésiter. » (2)

« Ainsi il demeure pour constant, récapitulait Cassini à la fin de son long mémoire (3), que toutes les comètes que nous avons rapportées, depuis l'année 1472 jusqu'à présent, ont pu avoir un mouvement réellement direct. D'où l'on peut con-

(1) « On peut très bien concevoir qu'une comète, tandis qu'elle est visible, traverse l'orbe annuel, soit pour y entrer, soit pour en sortir. Ce cas est un composé des deux que nous venons d'expliquer, et il sera très aisé d'en imaginer les suites. Les comètes auront en quelque sorte un double principe de rétrogradation, d'abord comme planètes supérieures, ensuite comme planètes inférieures, ou au contraire. » (*Op. cit.*, p. 80).

(2) *Op. cit.*, p. 82.

(3) *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1731, p. 486.

clure, avec bien de la vraisemblance, que, conformément au système des tourbillons, les comètes, de même que les planètes et leurs satellites, ont toutes un mouvement réel de l'occident vers l'orient autour du foyer de leurs révolutions, et que cette direction de mouvement est une règle invariable de la Nature. »

41. — Si les *Entretiens physiques d'Ariste et d'Eudoxe ou physique nouvelle en dialogues* du P. Regnault (1) sont loin d'avoir la valeur scientifique des travaux précédents, il n'en est pas moins constant que la diffusion même de cet ouvrage et le succès qu'il obtint le firent servir de manière fort appréciable la cause du cartésianisme.

« Je crois dans le fond votre pensée solide, Eudoxe, concluait Ariste à la fin du troisième entretien, tout entier consacré à la matière subtile (2); je suis pour la matière subtile. Elle réjouit mon esprit, j'aime à la voir circuler à votre gré dans tout l'univers et opérer partout des merveilles. »

Même accord ensuite des deux interlocuteurs sur la valeur de l'explication cartésienne de la cause du ressort. « Votre pensée sur le ressort, disait encore Ariste à Euxode (3), se trouve parfaitement conforme à l'idée que je m'étais faite en lisant M. Descartes et M. Rohault ; et rien de plus heureux, ce me semble, pour expliquer les effets surprenants du ressort, et tout ce qui le regarde. »

Et, lorsque le dialogue se trouvait amené dans le 17ᵉ entretien sur la question de la pesanteur, Ariste, après avoir attribué ce phénomène à la matière subtile, apportait, concernant la direction de la pesanteur vers le centre de la terre, l'explication suivante : cette direction de la matière subtile inférieure, qui touche, pousse et précipite immédiatement les

(1) 3 vol. in-12. Paris, 1729. 2ᵉ édition avec des additions. 4 vol. Amsterdam 1733. 3ᵉ édition Paris 1737.

(2) *Op. cit.*, I, p. 38. Nous citons d'après la 3ᵉ édition.

(3) *Op. cit.*, I, p. 185.

corps pesants lui vient de deux tourbillons de matière subtile supérieure, l'un tournant autour de l'axe de la terre, le second d'un pôle vers l'autre. « Le premier tourbillon n'est point imaginaire, répondait-il ensuite à Eudoxe, en apparence peu convaincu (1); je le prouve. La lune tourne autour de l'axe terrestre, toujours environnée de matière subtile ou éthérée. Car la lumière du soleil, réfléchie par la lune, vient frapper nos yeux. La matière, où nage la lune, tourne avec elle; autrement la lune trouvant toujours quelque résistance dans ce liquide, qu'il faudrait fendre et diviser, communiquerait et perdrait de sa force à chaque instant, et cesserait enfin de parcourir le ciel, comme elle fait, d'un pas égal depuis six mille ans. Or, la matière céleste qui renferme la lune dans son sein, ne peut tourner avec elle autour de la terre, sans que le premier tourbillon ne soit réel.

« Le second tourbillon n'est pas plus imaginaire que le premier. L'aiguille aimantée, aussi bien que l'aimant libre, a deux extrémités, deux pôles, qui semblent toujours chercher avec quelque inquiétude les pôles de la terre. L'aiguille n'a point d'elle-même cette direction, n'étant qu'une portion de matière fort indifférente d'elle-même pour toutes les directions imaginables. Il faut par conséquent qu'elle la reçoive immédiatement d'une matière agitée, qui ait une direction constante d'un pôle à l'autre de la terre, comme vous me le fites observer lorsque nous parlions de l'aimant. Cette matière agitée d'un pôle à l'autre, c'est l'air ou une matière plus déliée, une matière subtile, puisque c'est un corps imperceptible. Ce n'est point l'air ; l'air n'a point de direction constante, il se porte indifféremment vers mille endroits au gré des vents : c'est donc une matière plus déliée, une matière subtile, qui circule d'un pôle à l'autre. Et voilà le second tourbillon de matière subtile, aussi réel que le premier. »

Ainsi, fidèle à l'esprit du cartésianisme, Regnault prétendait

(1) *Op. cit.*, I, p. 281-282.

à l'aide des seuls tourbillons pouvoir expliquer tous les phénomènes sans aucun recours à l'attraction (1). Non qu'il allât jusqu'à critiquer les idées de Newton ; il se contentait de se tenir constamment en garde, pour ainsi dire, contre toute sollicitation de son propre esprit dans le sens d'une admission, même implicite, de ces idées.

Regnault admettait cependant la possibilité du vide, et pour une raison qui était déjà devenue entre les mains des newtoniens un argument en faveur de cette idée. « Ce qui ne renferme point de contradiction est possible, faisait-il dire à Ariste (2) ; le vide ne renferme point de contradiction ; car quelle contradiction dans une surface propre à contenir un corps, et qui cependant n'en contient point ? Ces termes ne se détruisent nullement : donc le vide est possible.

« En effet, si Dieu anéantissait tout à coup l'air, et toute la matière dont nous sommes enveloppés dans ce cabinet, sans rien changer dans la situation du cabinet, ni des corps qui l'environnent, il y aurait du vide ; et l'on peut dire qu'alors nous nous trouverions immédiatement au-dessous du rien. Or, cette supposition n'a rien d'impossible, rien qui se contredise, rien qui soit au-dessus de la puissance d'un Dieu, qui n'a besoin de rien, qui conserve librement les corps qu'il conserve, qui peut anéantir les uns sans les autres, puisque ce sont autant de substances distinguées, et qu'il peut opérer du changement en elles, ou non : donc, etc. » Bien qu'Eudoxe fît remarquer à Ariste que ce n'était pas là l'avis de Descartes, ni celui de Rohault et de Régis, deux des plus fameux cartésiens : « Je le sais, continuait Ariste ; mais je sais aussi qu'en ce point leur esprit fut la dupe de l'imagination. L'imagination leur faisait

(1) Nous ne pouvons songer à passer en revue ces explications avec quelques détails, ni même à les énumérer. Signalons particulièrement l'importance attachée par le P. Regnault aux Mémoires de Cassini sur le flux et le reflux et la satisfaction avec laquelle il y trouvait des arguments pour étayer la théorie cartésienne. (Voir *Op. cit.*, II p. 215 et suiv.).

(2) *Op. cit.*, I p. 53.

voir de l'étendue dans tous les intervalles des corps. Et cette étendue, ils la prirent pour une étendue réelle, pour une portion de matière ; mais ils prirent le fantôme pour la réalité. Portons tant qu'il nous plaira notre imagination au delà des 6.000 ans, environ, qui se sont écoulés depuis la création du monde : notre imagination s'y fait toujours de l'étendue : dans cette étendue y a-t-il de la solidité ? Point du tout ; autrement le monde serait éternel. Notre imagination se repaît d'images corporelles ; la vue des corps la remplit de l'image de l'étendue. De là, partout où l'imagination se transporte, l'image de l'étendue l'accompagne ; mais ce n'est qu'une étendue imaginaire, qui n'a point de corps, et qui s'évanouit aux yeux de la raison. »

Nous ne pouvons douter que Regnault prît à son compte cette discussion de la théorie cartésienne de l'étendue, puisque, après l'avoir fait exposer par Ariste, il faisait répondre par Euxode : « Jusqu'ici, je suis dans votre pensée sur le vide. »

Cependant Regnault se gardait bien ensuite de passer de cette possibilité du vide à sa réalité. « Y a-t-il du vide dans l'Univers ? Je n'en crois rien, poursuivait Euxode ; pourquoi ? Parce que rien n'en prouve l'existence, et que je ne vois rien de plus inutile que le vide pour opérer les merveilles de la nature. » Et, après quelque résistance, Ariste se rangeait à son avis en constatant : « Il faut bien, tôt ou tard, penser comme vous. Vous n'avez qu'à parler. La matière subtile vient de tous côtés vous seconder, et ne laisse rien à répartir. » (1)

42. — Le mémoire de Jean Bernoulli *Sur le système de Descartes et la manière d'en déduire les orbites et les aphélies des planètes* vint étayer encore ceux de Privat de Molières et fournir à l'Académie une nouvelle occasion d'affirmer son intérêt pour le cartésianisme en attribuant à cet ouvrage son prix de 1730.

(1) *Op. cit.*, I p. 62.

La préférence donnée à ce travail sur celui des autres concurrents est d'autant plus significative que Bernoulli lui-même, en disciple convaincu de Descartes, s'était plu à relever, dès le début, la valeur que prendrait dans le débat entre cartésiens et newtoniens le jugement de l'Académie et la portée de cette manifestation. « On sera peut-être surpris, dit-il en manière d'avertissement, de voir que j'ose reproduire sur la scène les tourbillons célestes, dans un temps où plusieurs philosophes, particulièrement des Anglais, les regardent comme de pures chimères, et n'en parlent qu'avec le dernier mépris ; mais la savante Compagnie, à l'examen de laquelle je soumets mes pensées, jugera si on a raison de condamner un système bâti sur des principes clairs et intelligibles, et de lui en substituer un autre fondé sur des principes dont on ne peut se former aucune idée, ce qui en matière de physique me paraît une raison suffisante pour rejeter un tel système, quand il serait au reste le plus heureusement inventé pour l'explication de tous les phénomènes, surtout si on a les moyens en main de faire voir que, par le premier système bien ménagé, on est en état, non seulement de rendre raison de ces mêmes phénomènes, mais aussi de répondre aux objections les plus fortes qu'on a voulu faire valoir en Angleterre comme des armes invincibles contre les tourbillons. » (1)

D'ailleurs, la question proposée (2) ne permettait guère d'éluder la nécessité d'une option entre les divers systèmes du monde, et notamment entre les deux qui se partageaient alors les esprits : si bien qu'il ne semble pas douteux que l'Académie, en posant ce problème, ait eu en vue la possibilité de se prononcer, en donnant à cette décision l'importance que lui recon-

(1) Bernoulli. *Opera omnia*, 4 vol. in-4°, Lausanne et Genève, 1742, tome III, p. 134.

(2) Quelle est la cause de la figure elliptique des orbites des planètes, et pourquoi le grand axe de ces ellipses change de position ; ou, ce qui revient au même, pourquoi leur aphélie, ou leur apogée répond successivement à différents points du ciel ?

naissait Bernoulli. C'était un moyen offert, d'autre part, aux adversaires de reconnaître leurs forces respectives ; et par conséquent on ne saurait accorder trop d'attention, non seulement au résultat du jugement, mais à l'exposé des idées qui l'emportèrent.

Considérant l'essentiel des idées de Newton, Bernoulli estimait qu'il lui a fallu « hasarder deux suppositions hardies, qui révoltent les esprits accoutumés à ne recevoir dans la physique que des principes incontestables et évidents. La première de ces suppositions est d'attribuer aux corps une *vertu* ou *faculté attractive* par laquelle ils s'attirent mutuellement, sans le secours d'aucune autre action. La seconde consiste à supposer dans le monde un *vide* parfait » (1), « deux principes, ajoutait-il, après s'être référé au sentiment de Fontenelle sur ce point, qui tendent directement à rétablir sur le trône le péripatétisme qui a tyrannisé si longtemps les anciens philosophes » ; car la volonté manifestée par Newton de ne pas voir dans la pesanteur une propriété essentielle à la matière n'a pas retenu longtemps ses disciples sur la voie d'une telle affirmation.

Si Bernoulli revenait ensuite sur l'idée que le système de Newton « choque la raison », on sent bien, en continuant la lecture, que c'était à n'en pas douter pour reprendre contre cet auteur la méthode de réfutation imaginée par plaisanterie contre Descartes dans la Préface donnée par Côtes aux *Principia* lors de leur réédition. En effet, pour jeter le ridicule sur les tourbillons cartésiens, cet auteur avait prétendu « qu'ils ne sont pas plus propres pour expliquer les mouvements des planètes que serait l'hypothèse de celui qui, pour rendre raison pourquoi une pierre jetée en l'air décrit une parabole, voudrait soutenir que c'est parce qu'il y a une matière subtile qui se meut en tous sens, et toujours sur des paraboles grandes et petites, tellement que la pierre entraînée par le cours de cette matière sera obligée de suivre la route de l'une ou de l'autre

(1) *Op. cit.*, p. 137.

de ces paraboles, selon la direction et la force avec laquelle la pierre a été jetée. » (1)

Et, après les critiques adressées à Newton, venaient les éloges à Descartes; car « ce serait une espèce d'ingratitude, si nous ne reconnaissions pas que c'est principalement à Descartes que nous sommes redevables des premières idées qu'il nous a données pour raisonner en physique sur des principes qu'on peut entendre clairement, au lieu de tout ce fatras de qualités occultes, de formes substantielles, de facultés, de vertus plastiques et de cent autres chimères semblables, que l'antiquité nous avait laissées » (2). D'ailleurs, à en croire Bernoulli, « les tourbillons se présentent si naturellement à l'esprit qu'on ne saurait presque se dispenser de les admettre. »

Estimant que Saurin avait répondu d'une façon tout à fait satisfaisante à la plus embarrassante des objections de Huygens, il se hâtait d'arriver à l'une de celles de Newton, où il ne voulait voir qu'un « sophisme manifeste ».

Après avoir admis le principe méthodologique de la division idéale du fluide, comme l'avait supposé Newton, en une infinité de couches d'une épaisseur égale et infiniment petite, toutes parallèles à la surface du cylindre ou de la sphère, il relevait dans le calcul de Newton deux erreurs. « Car 1° les impressions que se font les couches les unes sur les autres, consistent dans la résistance que cause le frottement, lorsque la surface convexe d'une couche se sépare de la surface concave de la couche voisine : mais on sait que cette résistance dépend uniquement de la force avec laquelle les deux surfaces sont pressées l'une contre l'autre, et point du tout de la grandeur ou de l'étendue dans laquelle elles se touchent. Nous avons sur ce sujet une excellente dissertation de feu M. Amontons dans les *Mémoires de l'Académie* en 1699, où il fait voir que la résistance causée par le frottement des surfaces de différentes

(1) La formule de cette objection est empruntée au mémoire de Bernoulli, *Op. cit.*, p. 141.
(2) *Op. cit.*, p. 141.

étendues est toujours la même, lorsqu'elles sont chargées de poids égaux, ou ce qui est la même chose, lorsque les pressions sont égales. Cependant, M. Newton considère seulement l'étendue des couches et la vitesse relative avec laquelle elles se séparent, sans faire attention à la quantité de pression dont chacune est pressée contre sa voisine. — 2° Il néglige entièrement de faire intervenir l'action du levier, dont la considération pourtant est ici absolument nécessaire, étant visible que la même force, appliquée suivant la tangente de la circonférence d'une grande roue, a plus d'efficace pour la faire tourner, qu'elle n'a lorsqu'on l'applique à la circonférence d'un rayon plus petit. D'où vient donc que M. Newton, qui regarde ces couches comme autant de roues solides à tourner sur leur axe commun, ne tire pas en conséquence le rapport des distances au centre, qu'observent les forces du frottement dans les couches, pour avoir leur véritable *momentum*, ou efficace ? D'où vient aussi qu'il ne met pas en ligne de compte la quantité de pression que chaque couche doit soutenir, puisque, sans la pression, les couches ne feraient que glisser l'une sur l'autre sans se frotter, comme il est évident par les expériences de M. Amontons. » (1)

Pour pouvoir obtenir, dans une couche donnée du fluide, une vitesse uniforme par simple différence entre les accroissements et les diminutions dues au frottement des couches contiguës inférieure et supérieure, il convenait donc, d'après Ber-

(1) *Op. cit.*, p. 144-145. « Voilà deux erreurs, ajoutait Bernoulli, qu'on ne saurait concevoir comment elles sont échappées à la sagacité d'un si grand géomètre, et moins encore peut-on s'imaginer pourquoi ses zélés partisans ne s'en sont point aperçus pendant si longtemps, jusque là même qu'ils ont laissé paraître ces fautes dans les trois différentes éditions qu'on a faites en Angleterre de l'ouvrage de M. Newton fort longtemps l'une après l'autre. » (p. 145). La dissertation d'AMONTONS a pour titre : *De la résistance causée dans les machines, tant par les frottements des parties qui les composent, que par la raideur des cordes qu'on y emploie, et la manière de calculer l'un et l'autre* in *Mémoires de l'Académie des Sciences* 1699, p. 259 et suiv.

noulli, de considérer la force même du frottement dans sa cause, afin d'en trouver l'expression mathématique nécessaire au calcul. « Voici donc, précisait-il, en rectifiant la méthode de Newton suivant les principes d'Amontons, d'où je dérive cette force. Pendant qu'une couche est en circulation, il est visible qu'elle fait un continuel effort pour se dilater, à cause de la force centrifuge avec laquelle toutes ses parties cherchent à s'éloigner du centre de la circulation; mais, la dilatation actuelle étant empêchée par la couche voisine supérieure, il est naturel que celle-ci en sera pressée. C'est donc ainsi que la première, ou la plus basse couche, mise en circulation, presse la seconde, et la seconde, aidée de la première, presse la troisième ; celle-ci, aidée des deux précédentes, presse la quatrième, et ainsi, de couche en couche, par toute l'étendue du tourbillon. D'où il suit que, pour estimer la quantité de l'impression que chaque couche exerce sur la surface concave de la suivante, il faut prendre la force centrifuge de la matière, non de la seule couche inférieure contiguë, mais de toutes les précédentes, puisque la dernière des couches doit toujours soutenir l'effort total de la force centrifuge que toute la matière du fluide compris sous elle acquiert par la circulation. » (1)

Puis, reprenant ensuite les calculs, il arrivait à démontrer, pour le tourbillon cylindrique, « que les temps périodiques des parties du fluide sont en raison sesquitripliquée, ou comme les racines cubiques de la quatrième puissance des distances à l'axe du cylindre, au lieu que M. Newton les a trouvées seulement en raison des simples distances » (2). Dans le cas d'un tourbillon sphérique, il établissait « que les parties d'un tourbillon formé par le tournoiement d'une sphère font la révolution en des temps qui sont comme les racines cubiques de la cinquième puissance de leurs éloignements du centre de

(1) *Op. cit.*, p. 146.
(2) *Op. cit.*, p. 150.

la sphère. Mais M. Newton les a trouvés, par son raisonnement erroné, comme les carrés de ces éloignements. » (1)

Certes, il ne se trouvait pas non plus ainsi en accord avec la loi de Képler, et l'objection de Newton semblait garder par là toute sa force. Cependant il y avait, de l'avis de Bernoulli, une réelle différence entre ses résultats et ceux indiqués par Newton ; à tel point qu'il devenait vraisemblable qu'on fût mis par eux sur la voie d'une solution. En effet, en substituant respectivement, à la simple distance, la racine cubique de la quatrième puissance de cette distance et, au carré de la distance, la racine cubique de la cinquième puissance de cette distance, Bernoulli diminuait sensiblement l'écart entre le cas du tourbillon cylindrique et celui du tourbillon sphérique. Il tendait par là même à serrer de plus près la proportion voulue par la règle de Képler : la proportion dans le tourbillon cylindrique étant seulement un peu moindre et la proportion dans le tourbillon sphérique un peu plus grande.

Or, si l'avantage de ce résultat n'était pas de nature à apparaître immédiatement, Bernoulli eut assurément l'habileté de le mettre en pleine lumière, en indiquant la féconde répercussion de sa solution dans la suggestion d'une ingénieuse hypothèse susceptible de tout expliquer. « Ne serait-il donc pas permis de hasarder à cette occasion quelque conjecture en faveur des tourbillons cartésiens ? demandait-il (2). On pourrait dire que, puisque la figure cylindrique du soleil donne un peu trop peu, et la figure sphérique un peu trop, il y a peut-être une figure à donner au soleil entre le cylindre et la sphère, qui produirait au juste ce qu'il faut. Mais donnera-t-on au soleil une autre figure que celle d'un globe ? Je répondrais : pourquoi non ? Les physiciens d'aujourd'hui ne sont-ils pas du sentiment que la terre, les planètes, enfin tous les

(1) *Op. cit.*, p.152-153.
(2) *Op. cit.*, p. 153.

corps célestes qui tournent sur leur centre doivent avoir une figure, non pas tout à fait sphérique, mais celle d'un sphéroïde, soit oblong, comme M. de Mairan en a montré la possibilité (Voy. les *Mémoires de l'Académie* de 1720), soit aplati, fait par la conversion d'une ellipse autour de son petit axe ? Au moins les observations des astronomes ont vérifié cela dans Jupiter, dont la distance d'un pôle à l'autre a été observée plus petite que le diamètre de son équateur. Pourquoi donc le soleil, qui tourne aussi sur son axe, témoin le mouvement de ses taches, en serait-il exempt ? Au lieu qu'il semble qu'il devrait être le plus sujet à cet aplatissement vers ses pôles, à cause qu'il est vraisemblablement composé d'une matière entièrement fluide. Il faut peut-être peu de différence entre la longueur de son axe et le diamètre de son équateur, pour que les temps périodiques des couches du tourbillon solaire suivent exactement la règle de Képler. »

Bernoulli, non content de trouver là un premier moyen d'écarter l'objection, cherchait d'ailleurs dans un autre sens une nouvelle solution de cette difficulté. Saulmon avait déjà eu l'idée, ainsi que nous l'avons vu précédemment (§ 12) de supposer, contrairement à l'opinion de Newton, une inégale fluidité des diverses couches du tourbillon. Bernoulli proposait d'ajouter à cette différence de fluidité, dont on devait tenir compte en premier lieu, une différence de densité. « On peut, et même on doit, précisait-il (1), supposer aussi une différente densité dans la matière céleste ; je parle de cette matière qui compose proprement le tourbillon, et laquelle, par le continuel effort de s'éloigner du centre, retient les planètes dans leurs orbites, et les entraîne ; en sorte que les planètes occuperont chacune telle ou telle région dans le tourbillon, où la matière céleste leur est convenable en densité. Car si le tourbillon était, par toute son étendue, uniformément dense, et que les planètes fussent aussi d'une même densité, il est visible qu'elles

(1) *Op. cit.*, p. 154.

seraient toutes également éloignées du soleil, et feraient leurs périodes en temps égaux. »

Grâce à cette nouvelle considération, Bernoulli pouvait, sans avoir recours à quelque supposition sur la forme sphéroïdique du soleil et en conservant l'hypothèse d'une figure sphérique, rétablir d'une autre manière l'accord entre le calcul du mouvement tourbillonnaire et les temps périodiques déterminés par la règle de Képler. Tout le problème consistait alors à chercher quelle loi de densité doivent observer les différentes couches du tourbillon pour obtenir un tel résultat. Bernoulli trouvait qu' « afin que cette règle ait lieu, il faut que la densité de la matière du tourbillon soit réciproquement comme la racine carrée des distances au centre. » (1)

« Nous voilà donc enfin débarrassés, concluait Bernoulli avec une évidente satisfaction (2), de la grande objection, que l'on a fait tant valoir contre le système des tourbillons. Les adversaires ne manqueraient pas sans doute d'y insister perpétuellement, si je n'avais pas démontré une bonne fois la fausseté des deux propositions de M. Newton qui ont fourni la matière de cette objection. Ainsi, on m'accordera que j'ai fait voir

(1) *Op. cit.*, p. 156. « On trouvera peut-être étrange que la matière soit plus dense près du centre que loin de là ; vu qu'il semble que le fluide du tourbillon étant composé de parties hétérogènes, les plus denses, ayant une plus grande force centrifuge, devraient gagner le dessus, et se ranger vers la circonférence du tourbillon ; mais pour obvier à cette difficulté, on peut concevoir deux sortes de densité, l'une qui consiste dans une plus grande grosseur des particules, l'autre dans une plus grande multitude de particules contenues dans un volume égal, lesquelles, quoique moins grossières, peuvent être si serrées que prises ensemble elles feront une plus grande quantité de matière. Or, il est fort probable que, vers le centre du tourbillon, les particules, quoiqu'extrêmement subtiles, sont aussi beaucoup plus serrées que celles qui sont vers la circonférence, lesquelles, quoique plus grossières, ne laissent pas d'être beaucoup plus écartées les unes des autres, nageant dans un fluide infiniment subtil, qui passe librement par les plus petits interstices des particules du tourbillon ; lequel fluide par conséquent ne fait que remplir le vide, sans faire aucune résistance aux corps célestes emportés par le tourbillon. » (p. 156-157).

(2) *Op. cit.*, p. 157.

par des principes incontestables, que l'effet des tourbillons peut conspirer merveilleusement avec la règle de Képler quant à la loi des temps périodiques des planètes. »

43. — Il ne pouvait paraître suffisant à Bernoulli d'avoir atteint ce résultat, et d'ailleurs la question posée par l'Académie ne lui permettait pas de s'en tenir là. Il s'agissait en effet de déterminer la cause de la figure elliptique des orbites des planètes ; et, si la défense des tourbillons contre Newton pouvait être tenue pour une préparation de la solution, le caractère préalable de cette discussion ne devait pas échapper. Et même, à regarder les choses de plus près, elle risquait, par sa conclusion cartésienne, de maintenir dans l'ensemble de la question des difficultés inextricables.

Bernoulli ne songeait en effet nullement à contester les inconvénients de l'explication fournie par Descartes lui-même et ses disciples intransigeants. Dire que la distance d'une même planète au soleil varie « parce que le tourbillon solaire, entouré de plusieurs autres tourbillons inégaux, en est pressé inégalement ; en sorte que l'interstice par où doit passer la matière du tourbillon étant d'un côté plus étroit, et du côté opposé plus large, il faut que la planète s'approche plus du soleil, et marche plus vite là où elle est serrée, et qu'elle s'éloigne plus du soleil, et aille plus lentement à l'endroit où elle est plus au large », dire cela, donc, ce n'était pas résoudre le problème ; et Bernoulli s'en rendait trop bien compte pour vouloir s'en tenir à cette explication illusoire. En effet, « quand on accorderait cela, on voit bien que les orbites des planètes ne seront pas des cercles, et qu'elles auront leurs aphélies et périhélies ; mais faut-il pour cela, dira-t-on, que les orbites soient justement des ellipses ? Que le soleil soit justement placé dans un des foyers ? Que les planètes observent si précisément dans leur cours la loi de Képler ? Faut-il aussi que les absides soient mobiles, nonobstant que l'inégalité des interstices entre le soleil et les tourbillons voisins paraissent par cette

explication devoir occuper toujours les mêmes endroits par rapport aux étoiles fixes ? » (1).

Bernoulli se rendait bien compte qu'une explication aussi illusoire ne donnait aucun moyen solide d'échapper à une autre objection de Newton.

La difficulté que Bernoulli avait souci d'éluder ici se trouvait exposée dans le scholie de la proposition LIII à la fin du second livre des *Principia*. Pour avoir moins généralement retenu l'attention, elle n'en était pas moins gênante que la précédente, puisqu'elle tendait à prouver que les parties du tourbillon ne peuvent pas décrire des ellipses, bien loin qu'elles doivent être assujetties à suivre de telles courbes. « Il est donc certain, disait en effet Newton (2), que les planètes ne sont point transportées par des tourbillons de matière. Car les planètes qui tournent autour du soleil, selon l'hypothèse de Copernic, font leurs révolutions dans des ellipses qui ont le soleil dans un de leurs foyers, et elles parcourent des aires proportionnelles aux temps. Mais les parties d'un tourbillon ne peuvent se mouvoir ainsi. »

Non seulement Bernoulli estimait possible de faire à la démonstration de Newton sur ce point (voir plus haut § 1) « bien des exceptions », mais, sans se mettre en peine de les formuler, il était bien persuadé de pouvoir échapper autrement à cette ingénieuse objection, par un meilleur usage de l'explication tourbillonnaire.

En accordant, au lieu d'une figure elliptique, une figure sphérique aux couches du tourbillon solaire, il prétendait, en proposant de les considérer comme parfaitement concentriques au soleil, rendre à la fois raison de la proportionalité des aires au temps et de l'ellipticité des orbites planétaires par un déplacement des planètes à travers ces diverses couches.

(1) *Op. cit.*, p. 140.

(2) *Principes mathématiques de la philosophie naturelle*, trad. de Mme du Chatelet, I p. 426.

L'essentiel de sa réponse lui était fourni par sa supposition antérieure de différences de densité dans les diverses couches du tourbillon solaire. En admettant ces conditions, « il est certain, disait-il (1), qu'une planète qui serait d'abord placée dans une couche, dont la matière fût avec elle de la même densité, suivrait exactement le cours de cette couche et décrirait par conséquent un cercle parfait autour du centre du tourbillon. Mais voyons ce qui doit arriver, si une planète au commencement de son existence ne se trouve pas placée dans une couche qui soit également dense que la planète. Il est naturel que, cette planète n'étant pas dans son point d'équilibre, elle doit ou descendre, ou monter, selon qu'elle est ou plus ou moins dense que la matière du tourbillon qui l'environne. Remarquez que je prends toujours le mot de densité dans le sens que je lui ai donné § 31. Mais pendant qu'elle change ainsi de place en ligne droite, par rapport au centre du tourbillon, elle est aussi emportée autour de ce centre par le mouvement circulaire de la matière céleste ; il en résultera donc dans la planète un mouvement composé, qui lui fera décrire une ligne différente de la circonférence d'un cercle. »

Pour déterminer la nature exacte de la courbe décrite, il suffisait de tenir compte, d'une part, de la vitesse des couches, et, d'autre part, de la vitesse de la descente (2). « Or, la loi suivant laquelle la variation de cette vitesse se doit faire, afin

(1) *Op. cit.*, p. 158.

(2) En supposant d'abord la planète dans une couche sphérique placée au-delà de la couche de même densité qu'elle-même, tant qu'elle sera dans une matière moins dense, elle descendra avec accélération ; mais, ayant acquis sa plus grande vitesse au moment où elle atteindra la couche sphérique de même densité qu'elle, elle continuera de descendre, cette fois avec un mouvement retardé à mesure qu'elle atteindra des couches plus denses. Puis, au moment où la résistance de la matière des couches inférieures aura enfin entièrement détruit le mouvement de descente, la planète se trouvant alors dans une matière trop dense, sera obligée de remonter jusqu'à son point de départ avec un mouvement d'abord accéléré puis retardé. Le mouvement se reproduira alors comme précédemment, ainsi qu'il arrive dans les oscillations des pendules.

que ce mouvement, combiné avec la circulation des couches, oblige la planète de décrire une telle ellipse ; cette loi, dis-je, se découvre, en faisant attention avec combien de force la planète est poussée ou repoussée, quand elle se trouve dans une couche d'une densité différente de la sienne. Connaissant ainsi les lois de la vitesse translative et de celle de la descente, on sera en état de déterminer la nature de l'ellipse. » Bernoulli, sans insérer les calculs dans son mémoire, se contentait d'indiquer deux moyens d'obtenir le résultat cherché, soit en procédant « par la méthode des tangentes inverse », soit en procédant « synthétiquement », en supposant l'ellipse donnée comme une ellipse ordinaire avec le soleil au foyer, et cherchant ensuite « par la méthode différentielle directe ». L'auteur se flattait d'apporter ainsi, pour la détermination de la cause produisant la figure elliptique des orbites des planètes, des principes « clairs, intelligibles et admis de tous ceux qui entendent la mécanique » (1).

Restait à indiquer pourquoi le grand axe de ces ellipses change de place. Bernoulli n'y voyait aucune difficulté, si on lui accordait son explication de la nature elliptique des orbites. En effet, « qu'est-ce qui empêche de supposer que le temps périodique d'une révolution n'est pas parfaitement égal au temps des deux oscillations ? d'autant plus que nous savons d'ailleurs que dans la nature des choses il est presque impos-

(1) *Op. cit.*, p. 162. « Je ne pense pas, ajoutait Bernoulli, qu'on trouve la moindre difficulté dans la supposition que je fais que les oscillations des planètes persévèrent sans être altérées par la résistance externe que leur oppose la matière du tourbillon, comme il arrive à un pendule agité dans notre air grossier, où nous voyons que l'étendue des oscillations diminue enfin sensiblement par la résistance de l'air, jusqu'à l'entière extinction du mouvement. Car l'énorme grosseur des globes des planètes, jointe à l'extrême rareté de la matière du tourbillon où elles nagent, fait concevoir aisément, sans le secours du calcul de M. Newton, que dans plusieurs centaines de siècles il n'arrivera point de changement sensible, ni à la durée, ni à l'étendue des oscillations que les planètes ont une fois commencé de faire. »

sible de trouver deux productions d'une égalité parfaite et prise à la rigueur géométrique. Il nous est donc permis de supposer que la planète fait sa révolution un peu plus tôt que deux de ses oscillations. » (1) Or une telle supposition admise suffisait à Bernoulli pour obtenir la raison de ce phénomène astronomique d'après lequel l'aphélie d'une planète répond successivement à différents points du ciel. En ce cas, le mouvement de l'aphélie doit être uniforme et se faire d'occident en orient selon l'ordre des signes (2).

Cependant Bouguer opposa bientôt à cette explication une difficulté nouvelle, en montrant que les deux portions de courbe que décrirait la planète par ses oscillations de l'aphélie au périhélie, ne sauraient être égales et semblables. « On peut s'assurer, lisons-nous dans le compte rendu de Fontenelle (3), que les deux moitiés de l'orbite du mobile séparées par la ligne des apsides ne doivent pas appartenir à la même courbe. Les différentes couches du milieu décrivent toujours des cercles concentriques, dont les supérieures montent ou tendent à monter par rapport aux inférieures. Le mobile parti du point de son orbite le plus éloigné du centre de sa pesanteur, qui est le même que celui des couches du milieu, descend donc par rapport à ce centre dans la première moitié de son cours, et passant d'une couche supérieure dans une inférieure, rencontre toujours des couches qui tendent à monter, et s'opposent en partie au mouvement qu'il avait reçu du milieu même vers le centre. Ce sera le contraire dans la seconde moitié de l'orbite, où en montant il trouvera des couches qui montent

(1) *Op. cit.*, p. 162-163.

(2) Le peu d'accord des astronomes sur l'ampleur du mouvement de l'aphélie de chaque planète paraissait à Bernoulli tout à fait vraisemblable, en raison de la lenteur même de ce mouvement, qui ne devient sensible qu'après un grand nombre de révolutions. Il ajoutait d'ailleurs à ces réflexions quelques remarques sur la possibilité d'expliquer d'une manière analogue, et sans sortir de la théorie des tourbillons, le mouvement de la lune et des autres satellites.

(3) *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1731, p. 111-112.

aussi. Il n'est donc pas poussé dans les deux moitiés par une force égale, et par conséquent il ne peut pas décrire de part et d'autre une courbe précisément la même. » (1)

44. — Il nous semble intéressant de jeter maintenant un regard en arrière sur les progrès respectifs ainsi réalisés par les systèmes cartésien et newtonien pendant la période dont nous venons de restituer la physionomie intellectuelle.

Nous avons pu constater à maintes reprises, au cours de cette étude, que l'influence des théories de Newton y fut prépondérante, soit directement, en marquant de son empreinte les travaux des savants français (notamment en ce qui concerne l'optique), soit indirectement surtout, en obligeant les cartésiens à apporter sans cesse à leurs explications des correctifs et des compléments.

En ce qui concerne la pesanteur, aux premières études de Saurin (§ 4 et 6) et de Villemot (§ 5) étaient venues se joindre les remarques de Bouillet (§ 21) et du P. Castel (§ 28) et finalement le mémoire de Bulffinger (§ 36). Nous avons vu ce que chacun de ces essais apportait et ce que tous laissaient encore subsister des difficultés soulevées ; mais nous pouvons admettre que ces tentatives mêmes, tout en créant à certains points

(1) Ces calculs de Bouguer faisaient d'ailleurs partie d'un ensemble de recherches *Sur le mouvement curviligne des corps dans les milieux qui se meuvent*. Après avoir, au début de son mémoire, rappelé les recherches antérieures sur les forces centrales et sur les résistances, il continuait : « Cependant si ces sortes de recherches ne sont pas simplement curieuses, si elles sont encore de quelque utilité, leur application sera toujours renfermée dans des limites extrêmement étroites, tant qu'on ne considérera pas le milieu dans le cas du mouvement. Nos projections se font souvent ici-bas, comme on le sait, dans des fluides qui ont quelque vitesse, et si nous levons les yeux pour observer le mouvement des planètes, nous sommes forcés de reconnaître qu'il se fait dans un fluide qui circule avec une extrême rapidité. C'est donc là une nouvelle considération qu'il est à propos d'ajouter à la théorie des forces centrales : car il est clair qu'elle doit apporter beaucoup de différence dans la direction et la vitesse des mobiles. » (*Mémoires de l'Académie des Sciences* 1731, p. 546-547).

de vue des complications indéniables, avaient dans l'ensemble débarrassé le terrain et aplani la route ; car ces hésitations et ces essais infructueux ne pouvaient manquer de présenter le système cartésien sous un jour au moins jusqu'à un certain point défavorable. Il ne restait plus, par conséquent, qu'à triompher de la résistance systématiquement opposée à l'attraction, pour que la théorie newtonienne apparût avec toute la supériorité que lui conféraient sa simplicité et sa commodité.

Cette supériorité apparaissait déjà plus nettement encore dans l'explication des marées, pour laquelle Cassini, abandonnant les idées de Descartes et celles de Villemot (§ 9), se sentait obligé en quelque sorte de retrouver, derrière le rideau du système cartésien, les idées plus fécondes de Newton (§ 10); et la défense du système cartésien par le P. Aubert pouvait bien être considérée comme un effort tenté dans l'intérêt d'une cause sinon perdue, du moins bien près de l'être (§ 11 et 34).

Si nous laissons de côté la question du mouvement (§ 23), celle de la figure de la terre (§ 14 et 20), celle de la réflexion et de la réfraction (§ 25), celle de la capillarité (§ 26), reprises chacune par quelque savant dans le sens d'une explication cartésienne, nous avons vu surtout l'attention et l'ingéniosité des cartésiens se porter encore sur l'examen de la cause du ressort, de l'existence de comètes rétrogrades, de l'accord des mouvements tourbillonnaires avec les lois de Képler, de la figure elliptique des orbites des planètes et enfin de la rotation de la terre.

Si la théorie de Malebranche, concernant les petits tourbillons, paraissait susceptible d'apporter à la conception cartésienne des effets de la matière subtile dans le ressort un secours appréciable (§ 31, 32 et 33), elle n'était pas elle-même exempte de difficultés.

Il est vrai qu'après les explications un peu fantaisistes de Villemot sur la rétrogradation des comètes (§ 7 et 8), le système de Cassini sur cette question, avec ses mises au point succes-

sives (§ 29, 30 et 40), avait acquis une grande vraisemblance. Mais, s'il pouvait satisfaire aussi bien que celui de Newton, il ne satisfaisait pas mieux et avait contre lui l'inconvénient de sa complication plus grande.

Nous pouvons faire la même remarque en ce qui concerne les réponses aux grandes objections de Newton contre les tourbillons, successivement tirées, après les suggestions de Villemot (§ 3) et de Saurin (§ 6), de l'étude mathématique et expérimentale des tourbillons par Saulmon (§ 12), par Poleni (§ 13), par Privat de Molières (§ 37), puis du fameux mémoire de Bernoulli en 1730 (§ 42).

La figure elliptique de l'orbite des planètes venait d'être expliquée dans l'hypothèse tourbillonnaire par Bernoulli (§ 43), et la rotation de la terre par Dortous de Mairan (§ 38 et 39). Cependant, malgré l'ingéniosité de ces explications, elles étaient bien loin de pouvoir sembler sans répliques.

Or il était d'autant plus normal que les disciples de Newton songent à tirer parti de cette situation, en quelque sorte instable, du système cartésien, que l'influence directe de Newton s'était déjà trouvée renforcée, non seulement par la répercussion des travaux de Côtes (§ 13) et de Keill (§ 17), par la traduction faite par Coste de l'*Optique* de Newton (§ 18), mais aussi par la première pénétration en France de l'enseignement des physiciens hollandais (§ 22 et 27).

CHAPITRE IV

Les premiers travaux newtoniens
(1732-1734)

45. — « Ce n'était pas une grande gloire, nous apprend Maupertuis dans ses *Lettres* (1), de venir présenter à ses compatriotes une découverte faite par d'autres depuis cinquante ans. Ainsi je puis dire que je suis le premier qui osa, en France, proposer l'attraction du moins comme un principe à examiner. Ce fut dans le *Discours sur la figure des astres*. On y peut voir avec quelle circonspection je présentais ce principe, la timidité avec laquelle j'osais à peine le comparer à l'impulsion, la crainte où j'étais en faisant sentir les raisons qui avaient porté les Anglais à abandonner le cartésianisme. Tout cela fut inutile et si ce discours fit quelque fortune dans les pays étrangers, il me fit des ennemis personnels dans ma patrie. » (2)

En effet, si la conclusion des chapitres précédents tend à montrer que l'œuvre de Maupertuis, en prenant place à cette

(1) *Lettre* 12 in *Œuvres*, 4 vol. Lyon 1768, II, p. 284.

(2) Cette remarque de Maupertuis sur la signification de ses premiers travaux est confirmée par l'appréciation de D'Alembert dans son *Discours préliminaire de l'Encyclopédie* : « Il ne faut dit-il (p. XXIX), qu'ouvrir nos livres pour voir avec surprise qu'il n'y a pas encore vingt ans qu'on a commencé en France à renoncer au cartésianisme. Le premier qui ait osé parmi nous se déclarer ouvertement newtonien est l'auteur du *Discours sur la figure des astres*, qui joint à des connaissances géométriques très étendues cet esprit philosophique avec lequel elles ne se trouvent pas toujours et ce talent d'écrire auquel on ne croira plus qu'elles nuisent quand on aura lu ses ouvrages. M. de Maupertuis a cru qu'on pouvait être bon citoyen sans adopter aveuglément la physique de son pays ; et pour attaquer cette physique, il a eu besoin d'un courage dont on doit lui savoir gré. »

époque, répondait à des préoccupations nées, pour ainsi dire, ou tout au moins renouvelées au contact des travaux de Newton, cet ouvrage marquait néanmoins un pas décisif vers le newtonianisme, une orientation nouvelle et féconde vers cette théorie.

Le compte rendu consacré l'année même à ce *Discours sur la figure des astres*, dans l'*Histoire de l'Académie des Sciences*, par Fontenelle, montre que les critiques du secrétaire allaient surtout à l'application de la théorie à la question de la figure de la terre, qui allait prendre de ce fait une importance nouvelle. En ce cas, en effet, « notre globe deviendrait un sphéroïde aplati, ainsi que l'a pensé Newton, qui a même déterminé que le rapport du diamètre de notre équateur à l'axe de la rotation ou au diamètre d'un méridien était celui de 230 à 229, ce qui ne nuit guère à la sphéricité parfaite. Mais d'un autre côté, la mesure de la terre faite par l'Académie nous a appris que la terre est une sphéroïde allongé, quoique très peu aussi, du moins à en juger par une étendue de 8 degrés terrestres. Il est évident que les mesures actuelles doivent être préférées à ce qui résulte de théories géométriques fondées sur un très petit nombre de suppositions très simples, d'où l'on a écarté à dessein toute la complication du physique et du réel. Si Jupiter est un sphéroïde aplati, il se sera trouvé plus exactement dans les circonstances requises par la théorie, mais il n'aura pas empêché la terre d'en sortir. » (1)

Et c'était effectivement dans ces oppositions sur la figure de la terre que se trouvaient les germes des inimitiés auxquelles fait allusion Maupertuis dans sa lettre citée plus haut. Mais, si le reste des thèses qu'il soutenait dans cet ouvrage n'eut pas une répercussion aussi grave, il n'en est pas moins vrai qu'il fut loin de se faire accepter facilement. Si la critique directe ne s'étendait pas chez Fontenelle jusqu'à l'inspiration essentielle de tout ce travail, il y avait cependant quelque

(1) *Histoire de l'Académie des Sciences* 1732, p. 130-131.

dépit dans cette remarque qui terminait l'article : « Voilà l'attraction qui se montre ici sans voile, car toutes les tendances des corps vers des points centraux peuvent toujours être ramenées à des idées mécaniques, ou du moins il ne paraît pas impossible qu'elles le soient ; mais dès qu'un corps agit par sa masse sur un autre corps éloigné, on ne peut plus dissimuler que ce ne soit l'attraction proprement dite. Aussi M. de Maupertuis ne le dissimule-t-il pas. Il commence presque son livre par un parallèle de l'impulsion et de l'attraction, où il ne convient pas des avantages de l'une sur l'autre. Il donne de même un parallèle des sentiments de Descartes et de M. Newton et tout l'avantage est pour le philosophe anglais. » (1)

Fontenelle faisait certes allusion dans un autre compte rendu, d'ailleurs encore consacré à un mémoire de Maupertuis, à de « sages ménagements » apportés par Newton et ses disciples à l'idée de l'attraction ; cependant, leur façon de considérer l'attraction comme une cause inconnue, dont les effets partout sensibles, et comparables, donneraient aux calculs la possibilité de saisir sa manière d'agir, lui apparaissait bien plutôt, en fin de compte, comme un déguisement habile. « Il ne fallait pas moins, disait-il (2), que le grand génie et la grande autorité de M. Newton pour faire rentrer l'attraction dans la physique, d'où Descartes et tous ses sectateurs, ou plutôt tous les philosophes, l'avaient bannie d'un consentement unanime. »

Aussi se plaisait-il à insister sur les difficultés de cette idée, surtout dans son application aux phénomènes et dans son extension aux divers domaines de la science. « Quelque parfaite que puisse être pour le géométrique la théorie de l'attraction, il est aisé de s'apercevoir que l'application à la nature en sera toujours difficile, et surtout le choix de la véritable loi primi-

(1) *Op. cit.*, p. 132-133.
(2) *Op. cit.*, p. 158.

tive de l'attraction. Celle de la raison renversée des carrés des distances réussit dans l'astronomie physique, et tout le monde sait avec quelle adresse infinie et avec quel succès M. Newton l'a maniée. D'autres savants anglais ont cru avec beaucoup de raison qu'elle devait s'étendre aussi aux phénomènes terrestres, principalement aux chimiques, qui portent une idée d'attraction sans comparaison plus frappante que tous les phénomènes célestes. Avec quelle impétuosité certains acides vont-ils pénétrer les alcalis qui leur sont propres ! Quelle tempête dans le vaisseau ! Mais tout cela est trop violent pour le système qu'il paraîtrait favoriser. Quoiqu'il soit bien sûr que l'attraction est la plus forte qu'il soit possible dans le contact des deux corps, elle l'est trop ici, par rapport à la petitesse des accroissements qu'elle aurait pris hors de ce contact. Il faudrait, selon M. Newton même, que l'attraction primitive fût en raison renversée non des carrés des distances, mais de leurs cubes, ou même de leurs quatrièmes puissances, ce qui leur donnerait des accroissements plus grands et plus rapides. Ce sera l'affaire des physiciens de faire voir qu'une certaine attraction primitive supposée satisfait à tous les phénomènes, tant terrestres que célestes. Les physiciens n'ont pas à craindre de manquer d'occupation, les géomètres en manqueraient plutôt. » (1)

(1) *Histoire de l'Académie des Sciences* 1732, p. 164-165. Tout en donnant des renseignements sur la question, Maupertuis s'abstenait de prendre nettement position : « M. Keill et plusieurs philosophes anglais, après M. Newton, ont cru trouver dans les corps, outre cette attraction qui, à des distances immenses, règle le mouvement des planètes, une autre espèce d'attraction insensible dans l'éloignement, mais très puissante dans le contact, capable de produire les précipitations, les coagulations, les cristallisations, et une infinité d'autres phénomènes qu'on attribue aux adhésions et aux affinités, dont les noms sont plus doux. Enfin, M. Freind a donné une chimie, toute déduite de ce principe.

« On explique par cette attraction l'élévation des liqueurs entre deux lames de verre et dans les tuyaux où il ne paraît pas que ce que nous savons du poids de l'atmosphère les puisse tenir suspendues, la rondeur des gouttes des fluides, la difficulté de séparer deux marbres polis qui se joignent ; enfin la dureté des corps.

Il est facile de nous rendre compte par là que la question générale de l'attraction se trouvait mise au premier plan des préoccupations de tous les physiciens et astronomes par les travaux de Maupertuis ; et il importe dès lors de chercher quelle notion de l'attraction se dégageait des études de ce savant et en quel sens son influence allait contribuer puissamment à promouvoir en France les théories de Newton.

46. — « C'est une justice qu'on doit rendre à Newton, faisait remarquer Maupertuis (1) : il n'a jamais regardé l'attraction comme une explication de la pesanteur des corps les uns vers les autres : il a souvent averti qu'il n'employait ce terme que pour désigner un fait et non point une cause ; qu'il ne l'employait que pour éviter les systèmes et les explications ; qu'il se pouvait même que cette tendance fût causée par quelque matière subtile qui sortirait des corps et fût l'effet d'une véritable impulsion; mais que, quoi que ce fût, c'était toujours un premier fait dont on pouvait partir pour expliquer les autres faits qui en dépendent. »

Peut-être toutes ces concessions étaient-elles chez Newton plus apparentes que réelles (2); mais elles n'en existaient pas moins et faisaient que le philosophe anglais ne se prononçait pas ainsi sur la nature et sur la cause de l'attraction.

Tout en ne prétendant pas nettement déterminer cette cause, Côtes en faisait une propriété essentielle à la matière et dépassait par là de beaucoup les conclusions de Newton. « Il faut,

« L'attraction dont il est ici question, puisqu'elle serait insensible dans l'éloignement, et si forte dans le contact, suivrait nécessairement une autre loi que celle du carré de la distance, et l'on voit qu'elle serait au moins en raison inverse du cube de la distance, ou de quelque puissance plus élevée que le cube. » (*Sur les lois de l'attraction* in *Mémoires de l'Académie des Sciences* 1732, p. 502-503).

(1) *Discours sur la figure des astres*, in *Œuvres*, I, p. 92.

(2) On peut le conjecturer en considérant que Newton revit lui-même la 2e édition de ses *Principia* publiée en 1714 par Côtes avec une Préface où ces réserves ont disparu.

disait-il (1), que la pesanteur soit une des propriétés primitives de tous les corps, ou que l'on cesse de regarder comme telle leur étendue, leur mobilité, leur impénétrabilité : il faut que l'on puisse expliquer exactement les phénomènes de la nature par la loi de la pesanteur, ou que l'on renonce à en donner une explication raisonnable en faisant usage de l'étendue, de la mobilité et de l'impénétrabilité des corps.

« Je ne doute pas, continuait-il, qu'on ne désapprouve cette conclusion et qu'on ne me reproche de ramener les qualités occultes. On ne cesse de nous objecter que la gravité est une qualité de cette espèce, et qu'on doit bannir absolument de la philosophie toutes les explications fondées sur de pareilles causes : mais nous pouvons répondre que l'on ne doit pas appeler occultes des qualités dont l'existence est évidemment démontrée par l'expérience ; mais celles-là seulement qui n'en ont qu'une imaginaire, et qui ne sont prouvées en aucune manière. Ceux qui ont réellement recours aux qualités occultes sont ceux qui, pour expliquer les mouvements de la nature, ont imaginé des tourbillons d'une matière qu'ils forgent à plaisir, et qui ne tombe sous aucun sens. »

Quel fut entre ces deux attitudes le choix de Maupertuis? Ce qu'il dit lui-même de la timidité avec laquelle il proposa d'abord cette idée nous explique les incertitudes et les hésitations que nous pouvons relever dans l'expression de son sentiment sur ce point.

De ce qu'il se refusait à affirmer que l'attraction fût une propriété fondamentale de la matière, on ne saurait conclure qu'il le niât. Il apparaît même que, malgré ses réserves, il penchait vers une solution inspirée de la pensée de Côtes. Discutant contre ceux qui prétendaient que, tandis que la loi du choc serait nécessaire pour accorder le mouvement avec l'impénétrabilité, l'attraction ne pouvait sembler nécessitée de la même manière par la nature, Maupertuis, après avoir

(1) Nous citons cette préface de Côtes d'après le texte qui en est inséré en tête de la traduction des *Principia* par Mme du Chatelet (p. XXIX et XXX).

distingué dans la matière diverses propriétés d'ordre différent, montrait que ce serait dépasser l'expérience que de se prononcer pour le rejet de l'attraction à titre de propriété fondamentale. « Les différentes propriétés des corps ne sont pas, disait-il (1), toutes du même ordre ; il y en a de primordiales, qui appartiennent à la matière en général, parce que nous les y retrouvons toujours, comme l'étendue et l'impénétrabilité. Il y en a d'un ordre moins nécessaire, et qui ne sont que des états dans lesquels tout corps peut se trouver ou ne pas se trouver, comme le repos et le mouvement. Enfin, il y a des propriétés plus particulières, qui désignent les corps, comme une certaine figure, couleur, odeur, etc.

« S'il arrive que quelques propriétés de différents ordres se trouvent en opposition (car deux propriétés primordiales ne sauraient s'y trouver) il faudra que la propriété inférieure cède et s'accommode à la plus nécessaire qui n'admet aucune variété. Voyons donc ce qui doit arriver lorsqu'un corps se meut vers un autre dont l'impénétrabilité s'oppose à son mouvement. L'impénétrabilité subsistera inaltérablement : mais le mouvement, qui n'est qu'un état dans lequel le corps peut se trouver, ou ne pas se trouver, et qui peut varier d'une infinité de manières, s'accommodera à l'impénétrabilité, parce que le corps peut se mouvoir ou ne se mouvoir pas ; il peut se mouvoir d'une manière ou d'une autre ; mais il faut toujours qu'il soit impénétrable et impénétrable de la même manière. Il arrivera donc dans le mouvement du corps quelque phénomène, qui sera la suite de la subordination entre les deux propriétés.

« Mais si la pesanteur était une propriété du premier ordre, si elle était attachée à la matière, indépendamment des autres propriétés, nous ne verrions pas que son établissement fût nécessaire, parce qu'elle ne le devrait point à la combinaison d'autres propriétés antérieures. »

(1) *Discours sur la figure des astres* in *Œuvres*, I, p. 101.

Si la question restait ainsi douteuse, sa solution ne se trouvait guère plus avancée par un appel à la connaissance que nous avons des corps. « Si nous avions des corps les idées complètes, que nous connussions bien ce qu'ils sont en eux-mêmes et ce que sont leurs propriétés, comment et en quel nombre elles y résident, nous ne serions pas embarrassés pour décider si l'attraction est une propriété de la matière. Mais nous sommes bien éloignés d'avoir de pareilles idées ; nous ne connaissons les corps que par quelques propriétés, sans connaître aucunement le sujet dans lequel ces propriétés se trouvent réunies. » (1) Dès lors « on serait ridicule de vouloir assigner aux corps d'autres propriétés que celles que l'expérience nous a appris qui s'y trouvent ; mais on le serait peut-être davantage de vouloir, après un petit nombre de propriétés à peine connues, prononcer dogmatiquement l'exclusion de toute autre ; comme si nous avions la mesure de la capacité des sujets, lorsque nous ne les connaissons que par ce petit nombre de propriétés. » (2)

Il suffisait d'ailleurs, pour que l'attraction fût autre chose qu'une simple qualité occulte, qu'elle fût possible d'une part, et d'autre part prouvée par vérification de l'expérience.

Pour qu'une propriété soit possible, il faut d'abord qu'elle ne soit pas contradictoire avec d'autres propriétés sûrement reconnues ; car, soit qu'il s'agisse de propriétés primordiales et fondamentales, telles que l'étendue et l'impénétrabilité, soit que l'on considère des propriétés moins primitives et plus accidentelles pour ainsi dire, telles que la propriété pour les corps en mouvement de mouvoir ceux qu'ils rencontrent, on ne trouve jamais de connexion nécessaire, d'assemblage prévisible entre ces diverses propriétés (leur assemblage peut seulement en former de nouvelles qui seront prévisibles) ; mais l'exclusion de l'une par l'autre entraînerait la nécessité d'un choix entre les deux. Or, sur ce point, nulle difficulté pour

(1) *Op. cit.*, p. 94.
(2) *Op. cit.*, p. 96-97.

l'attraction ; car, si elle n'apparaît en liaison nécessaire avec aucune autre propriété connue, elle ne fait que partager le sort commun ; et, d'autre part, aucune autre propriété n'apparaît impliquer avec celle-ci véritablement contradiction.

Pourtant, même en n'étant pas contradictoire, cette attraction ne pourrait-elle pas apparaître impossible parce qu'inconcevable. Mais « la manière dont les propriétés résident dans un sujet est toujours inconcevable pour nous. Le peuple n'est point étonné lorsqu'il voit un corps en mouvement communiquer ce mouvement à d'autres ; l'habitude qu'il a de voir ce phénomène l'empêche d'en apercevoir le merveilleux ; mais des philosophes n'auront garde de croire que la force impulsive soit plus concevable que l'attractive. » (1) Et, si l'on prétendait lever la difficulté en ce qui concerne l'impulsion, par un recours à l'occasionalisme et à l'action divine, il faudrait étendre l'explication jusqu'à l'attraction ; car « alors est-il plus difficile à Dieu de faire tendre ou mouvoir l'un vers l'autre deux corps éloignés, que d'attendre, pour le mouvoir, qu'un corps ait été rencontré par un autre ? »

Sa possibilité une fois établie, « l'attraction n'est plus, pour ainsi dire, qu'une question de fait ; c'est dans le système de l'univers qu'il faut aller chercher si c'est un principe qui ait effectivement lieu dans la nature, jusqu'à quel point il est nécessaire pour expliquer les phénomènes, ou enfin s'il est inutilement introduit pour expliquer des faits que l'on explique bien sans lui. » (2) Or « ce principe établi, Newton explique merveilleusement les phénomènes ; et plus on détaille, plus on approfondit son système et plus il paraît confirmé. » (3)

47. — Avant d'aborder l'examen de ces diverses confirmations de fait de la théorie de l'attraction, il nous paraît inté-

(1) *Op. cit.*, p. 98.
(2) *Op. cit.*, p. 103.
(3) *Op. cit.*, p. 91.

ressant de signaler les considérations téléologiques (1) par lesquelles Maupertuis pensait pouvoir rejoindre, en même temps que par les calculs, la formule newtonienne de l'attraction. Le mémoire destiné à compléter sur ce point le *Discours sur la figure des astres* fut présenté à l'Académie des Sciences l'année même de la publication de cet ouvrage (2).

Après avoir rappelé l'indépendance par rapport à la figure des corps résultant pour l'attraction de ce que la somme des forces attractives de chaque partie demeure la même dans la même masse, malgré les changements survenus dans la figure, il apportait cette restriction : « Cependant, comme, dans l'exercice de ces forces sur quelque corps extérieur, leur énergie pour le tirer résulte de la composition de toutes ces forces dont les lieux, les quantités et les directions varient dans différentes figures du corps attirant, les différentes figures varient les effets de l'attraction d'une même quantité de matière. » (3)

En partant de là, « si l'on conçoit un atome ou un très petit corps placé sur l'axe prolongé d'une masse sphérique, et qu'on conçoive ensuite cette masse, sans que sa quantité de matière change, s'aplatir jusqu'à devenir un plan circulaire (dont le centre demeure le même que celui de la sphère), et qui se présente perpendiculairement à l'axe sur lequel est placé le corpuscule ; le corpuscule, dans ces deux cas, éprouvera de la même quantité de matière deux attractions qui peuvent infiniment différer. » (4)

Certes, les calculs amenaient Maupertuis à conclure « que si

(1) Sur la valeur reconnue aux causes finales par Maupertuis, voir notre ouvrage sur *Maupertuis*, 2 vol. Blanchard, 1929, II, p. 360 et suiv.

(2) *Sur les lois de l'attraction*, in *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1732, p. 473 et suiv.

(3) *Op. cit.*, p. 475. Bien qu'en raison de cette restriction et de la réciprocité de l'attraction, le principe de l'égalité de pesanteur, à la même distance de la terre, de mêmes quantités de matière, quelles qu'en soient les figures, ne fût plus vrai à la rigueur, Maupertuis ne pensait pas que les différences pussent sensiblement apparaître.

(4) *Op. cit.*, p. 476.

la distance du corpuscule est infiniment grande par rapport au diamètre de la sphère, les attractions que les sphères exercent sur un corpuscule suivent les mêmes proportions que l'attraction générale des parties de la matière. Ce que l'on verrait d'ailleurs, en considérant que par rapport à des distances infinies, toutes les parties d'une sphère finie sont comme réunies dans un point. Mais lorsque les distances du corpuscule ne sont pas infiniment plus grandes que le diamètre des sphères, il n'est plus vrai en général que l'attraction que les sphères ou les superficies sphériques exercent, suive la même proportion que l'attraction de la matière dont elles sont formées.

« Il y a cependant quelques lois d'attraction qui sont, pour ainsi dire, privilégiées à cet égard, c'est-à-dire que ces lois posées, les sphères et les superficies sphériques exercent une attraction qui suit la même proportion que celle de la matière qui les compose.

« C'est une chose remarquable, que suivant la loi d'attraction en raison inverse du carré de la distance établie dans la matière, les sphères solides et les superficies sphériques exercent sur les corps placés au dehors une attraction qui suit encore la même proportion. » (1)

Cet avantage d'uniformité constituait, aux yeux de Maupertuis, une raison de préférence, en quelque sorte, pour Dieu, de choisir la loi d'attraction inversement proportionnelle au carré de la distance, à supposer toutefois que Dieu eût effectivement voulu, en établissant quelque loi d'attraction dans la matière, faire un choix entre les possibles. En effet, « les seuls corps autour desquels l'attraction, quelle qu'elle fût, pouvait se faire également de tous côtés, étaient les corps sphériques ; et le seul point de ces corps auquel on doit rapporter les distances est le centre. Si donc on suppose que Dieu ait voulu que quelque corps conservât la même propriété qui devait être répandue

(1) *Op. cit.*, p. 476-477.

dans la matière, d'attirer de tous côtés également les corps, suivant la même proportion, il fallait que l'attraction des parties de la matière suivît une loi, telle que les corps sphériques qui en seraient formés la suivissent encore. Cette uniformité pouvait être une raison de préférence pour la loi où elle se trouvait, et alors tous les systèmes possibles d'attraction n'étaient plus égaux. La raison métaphysique de préférence une fois posée, la nécessité mathématique excluait d'abord une infinité de systèmes dans lesquels l'accord de la même loi dans les parties et dans le tout ne pouvait avoir lieu. » (1)

Le privilège sur ce point de la loi d'attraction en raison inverse du carré de la distance ne pouvait guère dès lors être dédaigné. Encore fallait-il pour cela qu'il y eût là un véritable privilège, c'est-à-dire que cette propriété n'appartînt vraiment qu'à cette loi. Or, non seulement une telle exclusivité ne pouvait être démontrée, mais encore une loi différente, celle de l'attraction en raison directe de la simple distance, apparaissait susceptible, tout en s'appliquant à la fois à la matière composant des sphères ou des surfaces sphériques et à ces figures elles-mêmes, de s'étendre à un cas où la loi d'attraction en raison inverse du carré de la distance perdait son application. En effet, tandis que cette dernière loi ne pouvait s'observer qu'à l'égard des corps placés au dehors, sans avoir lieu pour ceux placés au dedans, la loi d'attraction en raison directe de la simple distance une fois posée pour les parties de la matière, « un corpuscule non seulement placé au dehors, mais encore au dedans d'une sphère creuse ou solide, y éprouvera toujours une attraction vers le centre, proportionnelle à sa distance au centre. » (2)

(1) *Op. cit.*, p. 479-480.

(2) *Op. cit.*, p. 477. Les conséquences tirées de cette loi paraissaient d'ailleurs à Maupertuis également en accord avec les phénomènes astronomiques ; et de ce point de vue, aucune considération n'obligeait dès lors à la rejeter.

L'objection, mise ainsi en pleine lumière, suscitait assurément quelque embarras. « Mais ce qui arrive par rapport à l'attraction des sphères sur des corps placés au dedans, répondait Maupertuis (1), ne doit point avoir d'analogie avec l'attraction des dernières parties de la matière, dont l'attraction ne peut jamais avoir lieu que sur les corps placés hors d'elles, puisqu'elles sont les dernières parties de la matière.

« Ainsi l'avantage d'uniformité que sembleraient avoir sur cette loi d'attraction (il s'agit de celle déterminée par Newton), d'autres lois, comme celle qui suivrait la proportion directe de la distance, loi qui se conserve dans les sphères tant par rapport aux corps placés au dehors qu'aux corps placés au dedans ; cet avantage, dis-je, n'est point un avantage réel par rapport à l'analogie ou à l'accord de la même loi dans les parties et dans le tout. Outre qu'une loi d'attraction qui diminue lorsque les distances augmentent, paraît plus conforme à l'ordre des choses, où il semble que les effets doivent diminuer avec l'éloignement des causes. »

Malgré la « témérité » que Maupertuis lui-même reconnaissait à ces conjectures en un domaine bien difficilement pénétrable, il espérait néanmoins étayer ainsi dans l'esprit des partisans de la méthode téléologique l'idée même d'attraction, en même temps que la formule newtonienne. Mais, plus encore que sur ces considérations métaphysiques il comptait sur les vérifications astronomiques pour amener à la théorie de Newton des disciples nouveaux.

48. — Nous avons vu (§ 1) comment Newton avait, à la fin du livre II des *Principia*, apporté contre le système cartésien des tourbillons une objection bien vite devenue en quelque sorte le pivot des discussions. La réfutation la plus récente de cette objection était due à Bernoulli (§ 42) et elle avait une solidité telle aux yeux de la plupart des contemporains que

(1) *Op. cit.*, p. 480.

Maupertuis préféra ne pas insister sur ce point (1). Il se contenta donc de classer cette objection de Newton parmi celles « qui ne paraissent pas invincibles » et d'ajouter à une référence précise au mémoire de Bernoulli, récemment couronné par l'Académie en 1730, une légère restriction. En effet, si toute la question se réduisait à faire attention à quelque circonstance susceptible de changer le calcul, « il est vrai, faisait-il remarquer (2), qu'en faisant cette attention, on ne trouve pas encore les vitesses des couches telles qu'elles devraient être pour l'observation de cette loi (il s'agit de celle de Képler); mais elles en approchent davantage. »

Mais Newton avait soulevé une autre objection, de l'avis de Maupertuis bien autrement convaincante, contre le système des tourbillons. « L'hypothèse des tourbillons est sujette à beaucoup de difficultés. Car afin que chaque planète puisse décrire autour du soleil des aires proportionnelles au temps, il faudrait que les temps périodiques des parties de leur tourbillon fussent en raison doublée de leurs distances au soleil.

« Afin que les temps périodiques des planètes soient en raison sesquiplée de leurs distances au soleil, il faudrait que les temps périodiques des parties de leurs tourbillons fussent en raison sesquiplée de leurs distances à cet astre. » (3)

Cela revenait à dire que, dans le système des tourbillons, les deux lois de Képler amenaient à des résultats contradictoires, et que leur admission simultanée exigeait l'abandon de l'hypothèse tourbillonnaire.

« De ce que chaque planète, reprenait Maupertuis (4), décrit autour du soleil des aires proportionnelles au temps, il suit

(1) Peut-être son admiration pour Bernoulli était-elle pour lui une raison toute personnelle de ne pas engager une polémique sur ce mémoire. En ce qui concerne les rapports de Maupertuis avec Bernoulli, voir notre ouvrage sur *Maupertuis*, I, *Etude biographique*.

(2) *Œuvres*, I p. 110.

(3) Livre III, Scholie général, trad. de M[me] du Châtelet, II, p. 174.

(4) *Œuvres*, I, p. 108.

que les vitesses des couches de la matière du tourbillon sont réciproquement proportionnelles aux distances de ces couches au centre.

Mais de ce que les temps des révolutions des différentes planètes sont proportionnels aux racines carrées des cubes de leurs distances au soleil, il suit que les vitesses des couches sont réciproquement proportionnelles aux racines carrées de leurs distances.

« Si l'on veut donc assurer une de ces lois aux planètes, l'autre devient nécessairement incompatible. Si l'on veut que les couches du tourbillon aient les vitesses nécessaires pour que chaque planète décrive autour du soleil des aires proportionnelles au temps, il s'ensuivra, par exemple, que Saturne devrait employer 90 ans à faire sa révolution : ce qui est fort contraire à l'expérience.

« Si, au contraire, on veut conserver aux couches du tourbillon les vitesses nécessaires, pour que les temps des révolutions soient proportionnels aux racines carrées des cubes des distances, on verra les aires décrites autour du soleil par les planètes ne plus suivre la proportion des temps. »

Certes, Maupertuis n'ignorait pas les explications tentées par Leibniz (1) et, plus près de lui, par Bulffinger (§ 36). Mais il se refusait à les considérer comme concluantes ; car « il n'est pas facile d'admettre ces différentes couches sphériques se mouvant avec des vitesses indépendantes et interrompues. » (2)

(1) *Acta Eruditorum*, 1689, p. 82, et 1706, p. 446. « Leibniz fut réduit à dire, résumait Maupertuis (*Œuvres* I p. 110), qu'il fallait que par toute la couche où se trouve chaque planète il y eût une circulation, qu'il appelle harmonique, c'est-à-dire, une certaine loi de vitesse propre à faire suivre aux planètes celle des deux lois qui regarde la proportion entre les aires et les temps : et qu'il fallait en même temps que par toute l'étendue du tourbillon il se trouvât une autre loi différente pour faire suivre aux planètes la loi qui regarde la proportion entre leurs temps périodiques et leurs distances au soleil. »

(2) *Œuvres*, I, p. 111. Maupertuis ajoutait à cette critique une autre

Par contre, tout s'éclaire dans la théorie newtonienne de l'attraction. La loi de proportionalité des aires et des temps implique que les mobiles considérés sont attirés vers un centre. Quant à la loi de proportionalité des temps périodiques et des distances, elle permet de trouver que la force d'attraction diminue proportionnellement au carré de la distance.

Ainsi « ces deux analogies, si difficiles à concilier dans le système des tourbillons, ne servent ici que de faits qui découvrent et la force centrale et la loi de cette force. Supposer cette force et sa loi n'est plus faire un système ; c'est découvrir le principe dont les faits observés sont les conséquences nécessaires. On n'établit point la pesanteur vers le soleil pour expliquer le cours des planètes ; le cours des planètes nous apprend qu'il y a une pesanteur vers le soleil et quelle est sa loi. » (1)

La supériorité de l'explication de Newton apparaissait encore à Maupertuis sur un autre point : sa fécondité dans la solution même des difficultés soulevées par elle. En effet, l'attraction étant posée et considérée comme réciproque, elle doit apporter, par suite de son existence entre les planètes elles-mêmes d'une part, entre les planètes et leurs satellites d'autre part, des perturbations dans le mouvement qui devrait se produire pour chaque planète, compte tenu seulement de sa gravitation vers le soleil indépendamment de l'attraction exercée sur elle par les autres ou par ses satellites. Or ce sont ces irrégularités

objection tirée du mouvement des comètes. « Les différentes couches du tourbillon ont à peu près les mêmes densités que les planètes qu'elles portent, puisque chaque planète se soutient dans la couche où elle se trouve ; et ces couches se meuvent avec des vitesses fort rapides. Cependant nous voyons les comètes traverser ces couches sans recevoir d'altération sensible dans leur mouvement. Les comètes elles-mêmes seraient aussi apparemment entraînées par des fluides qui circuleraient à travers les fluides qui portent les planètes, sans se confondre, ni altérer leurs cours. » (*Op. cit.*, p. 112). Tandis que « les comètes si embarrassantes dans le système des tourbillons, donnent une nouvelle confirmation du système de l'attraction. » (*Op. cit.*, p. 123).

(1) *Œuvres*, I, p. 121.

calculées que permettent de vérifier les faits. L'attraction exercée par la lune sur la terre fait que ce n'est plus le centre de celle-ci, mais son centre commun de gravité avec la lune, qui décrit l'ellipse dont le foyer est occupé par le soleil. Ainsi encore Jupiter et Saturne dérangent réciproquement leur mouvement lorsqu'elles sont en conjonction ; si bien que « les mouvements des planètes reçoivent jusqu'aux dérangements qui doivent résulter de cette attraction. » (1)

49. — Maupertuis faisait, dans son *Discours sur la figure des astres,* d'autres applications fort ingénieuses de l'attraction à des phénomènes qui avaient jusqu'alors mis en défaut la sagacité des astronomes. Plus ces problèmes avaient été étudiés, plus les solutions que permettait d'y apporter l'attraction devaient retenir l'attention générale ; et Maupertuis espérait bien que la plupart de ceux qui s'intéressaient à ces questions ne sauraient nier qu'il y eût là de nouvelles preuves en faveur de la théorie newtonienne. Au premier rang des recherches importantes se plaçait la question fort complexe de la nature et de l'origine des satellites, ainsi que de l'anneau de Saturne.

Halley avait émis, concernant le globe terrestre, l'idée qu'il pourrait bien n'être qu'un assemblage de croûtes concentriques à un noyau intérieur. Partant de cette hypothèse, Grégory conjecturait que l'anneau de Saturne s'était formé de plusieurs croûtes concentriques détachées du corps de la planète, qui aurait eu ainsi auparavant pour diamètre la somme de son diamètre actuel et de la largeur de l'anneau.

Une théorie élaborée par Cassini dans une série de mémoires

(1) *Œuvres*, I, p. 131. L'attraction une fois admise, la pesanteur ne paraissait plus à Maupertuis difficile à expliquer ; et il se plaisait à constater la simplicité de la théorie de Newton en présence de celles infiniment plus complexes de Huygens ou de Bulffinger : « Voilà donc, disait-il (*Œuvres*, I, p. 116) à propos du mémoire présenté par celui-ci en 1728 à l'Académie et couronné par elle, quatre tourbillons opposés deux à deux, qui se traversent sans se détruire.»

à l'Académie des Sciences (1) se trouvait fort bien résumée ainsi par lui-même : « Cette apparence, qui n'a point sa pareille dans les corps célestes, a donné lieu de conjecturer que ce pouvait être un amas de satellites qui étaient dans le plan des autres, et faisaient leur révolution autour de cette planète, que leur grandeur est si petite qu'on ne peut pas les apercevoir chacun séparément, mais qu'ils sont en même temps si près l'un de l'autre qu'on ne peut point distinguer les intervalles qui sont entre eux, en sorte qu'ils paraissent former un corps continu.

« On pouvait opposer à cette hypothèse que, ces satellites devant observer, de même que les cinq autres qui tournent autour de Saturne, la règle de Képler, suivant laquelle les carrés du temps des révolutions sont comme les cubes des distances au centre de la planète, il suit que la quantité de leur mouvement ne serait pas proportionnée à leur éloignement de Saturne, et qu'il leur arriverait ce que l'on observe dans les autres satellites qui se trouvent souvent tous, ou du moins la plus grande partie, d'un même côté, qu'ainsi l'anneau paraîtrait souvent plus large et plus éclairé dans des endroits que dans d'autres, et serait sujet à de grandes irrégularités dans la figure. Mais cette difficulté se trouve levée, en supposant que tous ces satellites sont renfermés dans l'atmosphère de Saturne : car le mouvement qui entraîne cette planète autour de son centre avec son atmosphère, de même qu'on le suppose à l'égard de la terre, doit emporter en même temps tous les corps qui y sont placés ; et par conséquent cet amas de satellites doit avoir un mouvement uniforme, sans

(1) Notamment : *Nouvelles découvertes sur les mouvements des satellites de Saturne* in *Mémoires* 1714, p. 468 et suiv. *Observations nouvelles sur Saturne* in *Mémoires* 1715, p. 54 et suiv. *Théorie du mouvement des satellites de Saturne* in *Mémoires* 1716, p. 266 et suiv. *De la situation des nœuds des satellites de Saturne* in *Mémoires* 1717, p. 192 et suiv. Voir aussi Maraldi, *Observations sur la phase ronde de Saturne* in *Mémoires* 1715, p. 13, et *Suite des observations sur l'anneau de Saturne* 1716, p. 223.

pouvoir être assujetti à la règle de Képler, qui ne doit s'étendre qu'aux corps qui sont au delà de l'atmosphère qui environne une planète.

« Ces satellites doivent donc conserver entre eux le même arrangement et former par leur concours une figure uniforme semblable à celle qu'on observe presque toujours dans l'anneau.

« Pour ce qui est des différents degrés de lumière que l'on y remarque, la partie qui est la plus proche de Saturne étant plus éclairée que celle qui en est la plus éloignée, on peut aisément l'attribuer à la disposition de ces satellites, qui, étant rangés en ligne droite par rapport au centre de Saturne, doivent être plus serrés les uns contre les autres vers la partie intérieure et réfléchir une plus grande quantité de lumière que ceux qui sont vers la partie extérieure, qui doit par conséquent être moins lumineuse.

« On peut donc supposer avec beaucoup de vraisemblance que l'anneau de Saturne est formé d'une infinité de petites planètes fort près l'une de l'autre, qui, étant comprises dans son atmosphère, sont entraînées par le mouvement qui fait tourner Saturne autour de son centre. » (1)

Pourtant, même après de tels éclaircissements, il subsistait encore quelque obscurité. En effet, s'il en était ainsi, « ni l'ombre d'une surface de l'anneau, ni même celle du dos, ne seraient des ombres continues : il passerait toujours beaucoup de lumière dans tous les intervalles de ce nombre presque infini de satellites, de sorte que, dans tous les lieux où ces ombres se jettent sur le globe de Saturne, ce serait pour ainsi dire une moucheture continuelle d'ombre et de lumière, ce qui est un spectacle fort différent de tout ce qui se voit ici. » (2)

Maupertuis, renonçant donc à chercher en cette voie la solution, espérait la trouver, grâce à l'attraction, dans la consi-

(1) *Mémoires de l'Académie des Sciences* 1715, p. 61-63.
(2) Fontenelle, *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1716, p. 69.

dération des rapports possibles des comètes avec les planètes. Car « si une comète passe auprès de quelque puissante planète, la pesanteur vers la planète doit détourner ce torrent (il s'agit de la queue) et le déterminer à circuler autour d'elle suivant quelque ellipse ou quelque cercle; et, la comète fournissant toujours de nouvelle matière, ou celle qui était déjà répandue étant suffisante, il s'en formera un cours continu, ou une espèce d'anneau autour de la planète.

« Or, quoique la colonne qui forme le torrent soit d'abord cylindrique, ou conique, ou de quelque autre figure, elle sera bientôt aplatie, dès qu'elle circulera avec rapidité autour de quelque planète ou de quelque soleil et formera bientôt autour un anneau mince. » (1)

Cependant une difficulté subsiste. « En effet, ainsi que le remarquait Maupertuis lui-même (2), il faut que cet anneau, tout mince qu'il nous paraît, soit formé d'une quantité prodigieuse de matière, pour pouvoir jeter sur le disque de la planète l'ombre que les astronomes y observent ; pendant que la matière des queues des comètes paraît si peu dense, qu'on voit ordinairement les étoiles à travers. » L'objection n'est pourtant pas sans réplique, car d'une part il se peut que Saturne ait acquis son anneau aux dépens de plusieurs comètes (la supposition est même corroborée par l'existence de plusieurs satellites probablement autrefois comètes), et d'autre part « la pesanteur que la matière de ces queues acquiert vers la planète lorsqu'elle est forcée de circuler autour, la peut condenser. »

D'autres considérations venaient rendre plus grande encore la concordance entre cette hypothèse et les faits. Non seulement Saturne est d'un volume considérable par rapport aux autres planètes, mais elle était, à cette époque, la plus éloignée du soleil. Or « ces anneaux doivent se former plutôt autour des grosses planètes que des petites, puisqu'ils sont l'effet de la

(1) *Discours sur la figure des astres*, in *Œuvres*, I, p. 156.
(2) *Op. cit.*, p. 158.

pesanteur, plus forte vers les grosses planètes que vers les petites ; ils doivent aussi se former plutôt autour des planètes les plus éloignées du soleil qu'autour de celles qui en sont plus proches ; puisque dans ces lieux éloignés la vitesse des comètes se ralentit et permet à la planète d'exercer son action plus longtemps et avec plus d'effet sur le torrent. » (1)

Lorsqu'il s'agit de l'attraction opérée sur des comètes ayant une queue, il peut se faire que la queue seule soit entraînée, à cause de l'éloignement de l'astre lui-même, ou que le corps de la comète suive le même mouvement. Dans ce dernier cas, cette attraction donne à la fois à la planète un satellite et un anneau. Mais, comme il y a des comètes sans queue, si un tel astre est attiré par une planète, il lui donne simplement un satellite (2).

50. — Ce n'était pas seulement pour expliquer l'anneau de Saturne que Maupertuis avait recours à l'attraction. Il pensait pouvoir encore s'en servir sur un autre point non moins important ; et cette application, comme la précédente, devait avoir dans son esprit la valeur d'une preuve nouvelle, d'une confirmation de fait particulièrement remarquable. En effet, la précision croissante des observations astronomiques avait amené peu à peu à constater que le monde stellaire n'était pas tout à fait exempt de changements. Dès l'année 1572, une étoile avait été découverte dans Cassiopée ; mais, après avoir progressivement diminué de grandeur et d'éclat, elle finit par disparaître. Même phénomène, en 1604, dans le Serpentaire. Puis l'attention des astronomes s'était particulièrement portée sur les variations d'une étoile aperçue par Fabricius, dès 1596,

(1) *Œuvres*, I, p. 157.

(2) Dionis du Séjour, tout en reconnaissant l'ingéniosité de cette explication, ne devait pas cependant l'admettre dans son *Essai sur les phénomènes relatifs à l'anneau de Saturne* (1 vol. in-8, Paris, 1776). Nous y voyons établi par le calcul que les planètes ne peuvent pas ainsi forcer les comètes à devenir leurs satellites, ou que, même en admettant qu'elles y réussissent momentanément, elles ne peuvent du moins les conserver de la sorte.

dans le Col de la Baleine et étudiée surtout par Bayer, Holwarda, Hevelius et Bouillaud. La constellation du Cygne avait également présenté des phénomènes analogues au nombre de trois : l'une de ces étoiles avait été aperçue, en 1600, par Snasonius, Bayer et Képler; une autre, en 1670, par le P. Anthelme, la troisième, en 1686, par Kirchius (1). Cassini et Maraldi n'avaient pas tardé à augmenter beaucoup le nombre de ces étoiles variables reconnues ; et entre autres Maraldi, après des observations poursuivies de 1704 à 1706, avait réussi à établir la périodicité des variations d'une étoile découverte par lui dans la constellation de l'Hydre.

C'est qu'en effet on s'était aperçu que, parmi ces étoiles soumises à des changements, les unes ne paraissaient pas suivre dans leurs variations un rythme régulier, alors que d'autres (une dans la Baleine, une dans le Cygne, et cette troisième dans l'Hydre) observaient une particulière périodicité.

Mais, si l'on s'entendait sur les faits, les explications, par contre, étaient différentes.

Déjà le P. Riccioli (2), pour rendre raison de ces apparitions et disparitions d'étoiles, avait supposé que les étoiles variables n'étaient pas lumineuses dans toute leur étendue, ayant par exemple leur globe pour moitié lumineux et pour moitié obscur. Mais, au lieu de supposer quelque loi réglant les révolutions de ces astres, il avait admis qu'elles n'avaient d'autre cause que quelque volonté spéciale et momentanée de Dieu.

Bouillaud, reprenant cette hypothèse en 1667, estimait que les changements étaient dus à un mouvement propre de l'astre autour de son axe. En effet, « il est fort possible, remarquait Fontenelle, en rendant compte de cette explication (3), que dans ce nombre infini de soleils, il y en ait qui ne soient que des demi-soleils, et d'autant plus que notre soleil lui-même a

(1) MARALDI. *Du retour de l'étoile changeante qui est dans la constellation du Cygne* in *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1713, p. 61 et suiv.
(2) *Almagestum novum*, Rome, 1651, II, p. 176 et 178.
(3) *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1706, p. 140.

des taches, qui le réduiraient à n'être qu'un demi-soleil, si elles étaient fixes et plus étendues. »

Cassini avait apporté une correction à la théorie de Bouillaud, en attribuant un mouvement particulier aux pôles de la révolution de l'astre autour de son axe ; et Maraldi s'était servi de cette hypothèse pour expliquer l'apparition et l'occultation de l'étoile de l'Hydre, en même temps que les inégalités observés dans sa révolution (1).

D'ailleurs, selon la suggestion de Fontenelle, on pouvait imaginer aussi « que l'étoile de l'Hydre, qui ne paraît que quatre mois à peu près en deux ans, n'a que la sixième partie de sa surface qui soit lumineuse, et que le reste est couvert par des taches permanentes, mais non pas absolument fixes en un certain endroit du globe, ou qu'il s'y en peut joindre quelquefois de nouvelles et de passagères. L'une ou l'autre de ces suppositions, ou toutes les deux ensemble, satisferont à tout. » (2)

(1) Maraldi. *Découverte d'une nouvelle étoile qui paraît et qui disparaît en divers temps* in fine in *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1706, p. 147 et aussi *Du retour de l'étoile changeante qui est dans la constellation du Cygne* in *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1713, p. 61 et suiv.

(2) *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1709, p. 103. « On pourrait représenter les diversités de la grandeur et de la durée de l'étoile, remarquait Maraldi en 1719, à propos de l'étoile de la Baleine (*Observations sur l'étoile changeante de la Baleine* in *Mémoires de l'Académie*, p. 131) en supposant que la matière lumineuse qui rend l'étoile visible soit liquide, qu'elle a des mouvements irréguliers, et qu'elle occupe sur la surface obscure une étendue, tantôt plus grande, tantôt plus petite ; que lorsqu'elle y occupe une étendue plus grande, elle est plus longtemps visible, et paraît en même temps plus grande.... Les retours de l'étoile à la même phase, qui ont été trouvés tantôt plus lents et tantôt plus vites, peuvent s'expliquer, en supposant que les révolutions de l'étoile sont réellement inégales, ou en les supposant seulement inégales en apparence ; ce qui peut résulter d'un mouvement de la matière lumineuse sur la surface du globe qui à notre égard se fait tantôt d'orient en occident, suivant le mouvement du globe autour de l'axe, tantôt d'occident en orient, et contraire à notre égard au mouvement du même globe autour de l'axe. Lorsque le mouvement de la matière lumineuse sera conforme à notre égard à celui qui se fait autour de l'axe, les révolutions de l'étoile seront plus courtes, et lorsque le mouvement de la matière lumineuse sera contraire au mouvement du globe autour des pôles, les révolutions seront plus longues. »

Maraldi, tenant à ce que l'on ne restreignît pas l'ampleur de sa thèse, indiquait lui-même dans un mémoire sur la question que « les changements que nous observons dans l'étoile de l'Hydre et dans celles du Cygne et de la Baleine peuvent servir à expliquer des observations anciennes de quelques étoiles qu'on rapporte avoir paru en différents temps. » (1) Bien plus, « les étoiles qui paraissent et disparaissent sans révolutions réglées peuvent être des soleils dont les taches soient fort grandes, mais non pas fixes et peut-être même capables de s'évanouir entièrement. Celles de notre soleil nous donnent lieu d'imaginer sur cette matière un assez grand nombre de variétés. » (2)

Au lieu de chercher une explication dans le même sens, en faisant intervenir l'existence de taches, Dortous de Mairan essayait de s'en tenir à des mouvements et pensait trouver un moyen de rendre compte de ces apparences par un recours à l'analogie avec les comètes. Reprenant son hypothèse du mouvement des comètes suivant des ellipses appartenant à des tourbillons voisins et toujours vues par nous, de ce fait, de l'extérieur par une extrémité convexe (§ 30), il estimait qu'il suffisait de mettre cette ellipse dans certaines conditions spéciales par rapport à nous pour que s'ensuivent les faits d'apparition et de disparition présentés par les étoiles variables. « Si l'on imagine, résumait Fontenelle (3), que le plan de l'ellipse, au lieu d'être fort incliné au rayon visuel, le soit infiniment, ou passe par l'œil, si de plus on suppose que l'ellipse soit extrêmement allongée, et que son grand axe soit dirigé à notre œil, en ce cas l'ellipse peut ne nous paraître qu'une ligne droite, la comète qui la décrit est toujours rapportée au même point du ciel, ou est vue immobile, seulement elle paraît plus grande à mesure qu'elle s'approche réellement

(1) *Observation du retour de l'étoile changeante de l'Hydre*, in *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1709, p. 47.

(2) Fontenelle. *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1706, p. 141.

(3) *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1725, p. 100.

de nous, ou plus petite à mesure qu'elle s'en éloigne. C'est la même apparence que si elle décrivait, en s'approchant de nous, une ligne droite qui passât par notre œil et ensuite la même droite en rétrogradant.

« Cela même conduit encore M. de Mairan plus loin. Ces étoiles qui paraissent et disparaissent selon des périodes assez réglées et qui, dans le temps de leur apparition, augmentent toujours de grandeur jusqu'à un certain point et ensuite diminuent, pourraient être de vraies comètes, que l'on prend pour des étoiles fixes et non pour des comètes, à cause de leur immobilité apparente produite de la manière qu'on vient d'expliquer. »

Maupertuis trouvait plus satisfaisante une solution tirée seulement de la figure de ces astres. En effet, « si parmi les étoiles il s'en trouve d'une figure fort aplatie, elles nous paraîtront comme feraient des étoiles sphériques dont le diamètre serait le même que celui de leur équateur, lorsqu'elles nous présenteront leur face : mais si elles viennent à changer de situation par rapport à nous, si elles nous présentent leur tranchant, nous verrons leur lumière diminuer plus ou moins, selon la différente manière dont elles se présenteront : et nous les verrons tout à fait s'éteindre, si leur aplatissement et leur distance sont assez considérables.

« De même, des étoiles que leur situation nous avait empêché d'apercevoir, paraîtront lorsqu'elles prendront une situation nouvelle; et ces alternatives ne dépendront que du changement de situation de ces astres par rapport à nous. » (1)

L'attraction fournissait alors à Maupertuis le moyen de rendre compte de la possibilité de tels changements de situation. Il construisait une explication en supposant que, les étoiles étant des soleils, l'attraction exercée sur elles par les planètes qui gravitent autour d'elles peut, au moment du passage au périhélie, provoquer les changements de situation

(1) *Discours sur la figure des astres* in *Œuvres*, I, p. 150.

admis par hypothèse ; « et cette situation changera, ajoutait-il, selon la manière dont le plan de l'orbite de la planète coupera le plan de l'équateur du soleil. »

Pour que la théorie fût satisfaisante dans tous les cas, il suffisait d'admettre que les étoiles sont dérangées par des planètes dont les révolutions sont proportionnelles aux périodes de variation des dites étoiles et peuvent aller même jusqu'à des siècles, s'il s'agit d'étoiles qui semblent disparaître complètement.

« Enfin, dans des choses aussi inconnues que nous le sont les planètes qui circulent autour de ces soleils, leurs nombres, leurs excentricités, les temps de leurs révolutions, les combinaisons des effets de ces planètes les unes sur les autres, on voit qu'il n'y aura que trop de quoi satisfaire à tous les phénomènes d'apparition et de disparition, d'augmentation et de diminution de lumière. » (1)

Bien plus, cette attraction pourrait encore avoir pour effet de déplacer le centre même de ces astres. Or, tandis que, dans la plupart des cas, ce déplacement pourrait passer inaperçu pour nous, en raison de la distance, dans d'autres cas, au contraire, il pourrait servir à rendre raison de certains changements de situation dans le ciel manifestés, d'après certains astronomes, par quelques étoiles.

51. — Après de telles vérifications de la théorie newtonienne de l'attraction, Maupertuis, revenant du point de vue de la fécondité à celui de l'intelligibilité, aborda de nouveau la question de la prétendue absurdité de cette notion d'attraction. Mais, laissant de côté cette fois les considérations logi-

(1) *Discours sur la figure des astres*, in *Œuvres*, I, p. 154. Bailly devait plus tard soumettre à une critique serrée cette ingénieuse explication. Nous ne croyons pas devoir en reproduire l'argumentation, puisque ce qui nous intéresse avant tout ici c'est moins la théorie même de Maupertuis que le recours qu'elle exigeait à l'attraction, et l'usage qui y était fait de cette notion. (Voir BAILLY. *Histoire de l'Astronomie moderne*. Paris, 1779, II, p. 701-702).

ques et métaphysiques, il mit surtout en lumière l'évolution historique du problème.

« Sans parler des opinions des anciens philosophes sur l'attraction, sans parler de Képler, précurseur de M. Newton, qui a trouvé les deux lois de la nature qui devaient servir de fondement au système du monde, deux hommes illustres du siècle passé paraissent ne s'être pas écartés de l'idée d'une attraction tout à fait la même que celle de M. Newton. Voici comment ils parlent des différents systèmes sur la pesanteur : (Fermat *Varia opera mathematica*, p. 124. Lettre de MM. de Pascal et de Roberval à M. de Fermat). La commune opinion est que la pesanteur est une qualité qui réside dans le corps même qui tombe. D'autres sont d'avis que la descente des corps procède de l'attraction d'un autre corps qui attire celui qui descend, comme la terre. Il y a une troisième opinion qui n'est pas hors de vraisemblance ; que c'est une attraction mutuelle entre les corps, causée par un désir naturel que les corps ont de s'unir ensemble, comme il est évident au fer et à l'aimant, lesquels sont tels que si l'aimant est arrêté, le fer ne l'étant pas, l'ira trouver ; et si le fer est arrêté, l'aimant ira vers lui, et si tous deux sont libres, ils s'approcheront réciproquement l'un de l'autre, en sorte toutefois que le plus fort des deux fera le moins de chemin, etc. » (1).

Il est facile d'ailleurs de reconnaître dans ce texte cité par Maupertuis les idées développées, au début du mois d'août 1669, dans l'Académie des Sciences, par Frenicle et Roberval, ainsi que le relate J. B. du Hamel dans son Histoire de l'Académie (2).

Quoi qu'il en soit, Maupertuis tirait de cette citation un argument contre les adversaires de Newton : « Ceux que le

(1) *Sur les figures des corps célestes*, in *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1734, p. 88.

(2) *Regiae scientiarum Academiae historia*, 1 vol. in-4°, Paris, 1701, p. 80. Il peut même paraître étonnant que Maupertuis n'ait fait aucune référence à ce texte fort important sur ce point.

mot d'*attraction* blesse, et qui reprochent à M. Newton d'avoir ramené les qualités occultes, et d'avoir replongé la philosophie dans les ténèbres, verront que le terme dont on se sert ici de *désir naturel*, par lequel cependant on n'entend que *tendance*, est plus fort et plus dur que tout ce que M. Newton a jamais dit sur cette matière.

« On ne s'en tient pas là dans l'endroit que nous venons de citer, continuait-il (1), on y examine la manière dont les corps doivent tomber dans l'intérieur d'une sphère en vertu de cette pesanteur ; on fait voir qu'ils seraient tirés par des forces d'autant moindres qu'ils approcheraient plus du centre, parce que les parties de la sphère supérieures au corps l'attirent dans le sens opposé, et détruisent une partie de l'attraction des autres ; et c'est précisément ce qui résulte de la théorie de Newton. Cependant, lorsqu'on traitait cette opinion sur la pesanteur de vraisemblable, on ne savait point encore combien elle se trouvait conforme à tous les autres phénomènes de la nature. »

On peut se rendre compte, surtout par cette dernière phrase, combien, dans la pensée de Maupertuis, les multiples vérifications de fait de l'idée d'attraction donnaient à ces considérations historiques la valeur d'un véritable argument *a fortiori*. Une objection cependant était possible, et plus Maupertuis la considérait comme insidieuse, moins il pouvait s'en désintéresser. Qu'à une époque antérieure aux systèmes de Descartes et de Huygens sur la pesanteur, les physiciens aient reçu comme vraisemblable une opinion qui leur permettait au moins, si elle n'avait pas d'autre avantage, de donner une explication d'un phénomène particulièrement important, personne ne pouvait songer à s'en étonner. Mais ce qui apparaît, en l'absence d'une théorie solide, comme un postulat ou comme une hypothèse provisoire, préférable à un total aveu d'impuissance, devient, après la découverte de lois mieux éta-

(1) *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1734, p. 89.

blies, une sorte de survivance embarrassante, dont seul le parti pris masquerait le caractère désuet. Or, d'après les Cartésiens, la question de l'attraction, en face du cartésianisme, ne pouvait guère apparaître sous un autre jour ; et l'objection se présentait dès lors avec toute sa force : pourquoi s'attacher, en dépit d'explications satisfaisantes nouvelles, à une hypothèse plus ancienne, encore marquée de l'influence de l'Ecole, avec un recours plus ou moins explicite à des qualités occultes? Pourquoi vouloir faire revivre une thèse légitimement abandonnée ? L'impossibilité d'une réponse satisfaisante sur ce point risquait de détruire toute l'argumentation ; mais Maupertuis se tirait de cette difficulté par une distinction. En effet, « lorsqu'on rejette l'attraction, ce n'est pas, disait-il (1), parce qu'on a sans elle des explications satisfaisantes des phénomènes, c'est qu'on trouve absurde d'attribuer cette force à la matière. »

« M. de Maupertuis, demandait alors Fontenelle (2), a-t-il voulu revendiquer une gloire à sa patrie, ou justifier un peu les Anglais à nos dépens? » Et, si le secrétaire de l'Académie ne se souciait pas en apparence de résoudre cette question, il n'y a guère de doute cependant que le second terme de l'alternative ne lui parût plus vraisemblable. Il ajoutait d'ailleurs à cette occasion une nouvelle critique à l'adresse du newtonianisme. « Il n'est presque pas croyable combien ce seul principe de plus rend les calculs plus longs et plus difficiles. Si l'attraction newtonienne n'était pas vraie, on serait en droit d'avoir regret au surcroît de peines qu'elle donne » C'était là un argument dont on ne s'était pas encore avisé et qui pouvait paraître au moins singulier.

52. — Cette préférence ostensible de Maupertuis pour Newton lui valut tout de suite l'admiration enthousiaste de Voltaire, à qui son séjour en Angleterre avait inspiré une bien-

(1) *Op. cit.*, p. 89.
(2) *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1734, p. 129.

veillance attentive pour tous les travaux anglais. Il saisit même cette occasion de demander au savant disciple de Newton quelques explications.

« J'ai recours à vous dans mes doutes, lui écrivait-il (1), bien fâché de ne pouvoir jouir du plaisir de vous consulter de vive voix. Il s'agit du grand principe de l'attraction de M. Newton. Je vous supplie très instamment de vouloir bien employer un moment de votre temps à m'éclairer. J'attends votre réponse pour savoir si je dois croire ou non à l'attraction. Ma foi dépendra de vous ; et si je suis persuadé de la vérité de ce système comme je le suis de votre mérite, je suis assurément le plus ferme newtonien du monde. »

La réponse satisfaisante de Maupertuis ne fit qu'augmenter l'ardeur de Voltaire à accepter les théories newtoniennes :

« Je ne vous avais demandé qu'une démonstration et vous m'en donnez deux (2); vous avez éclairci mes doutes avec la netteté la plus lumineuse : me voici newtonien de votre façon; je suis votre prosélyte et fais ma profession de foi entre vos mains. On ne peut plus s'empêcher de croire à la gravitation newtonienne, et il faut proscrire les chimères des tourbillons. »

Puis, décidé à profiter de plus en plus des conseils de Maupertuis, Voltaire lui envoya, avant de les faire imprimer, ses *Lettres anglaises* concernant Newton et l'attraction, en le priant de les examiner. En 1733, leur publication fit au *Discours sur la figure des astres* comme un écho destiné à un public beaucoup plus large et vint mettre, en quelque sorte, à la portée des gens du monde, des doctrines qui jusque-là n'étaient pas sorties du cercle des savants.

« Un Français qui arrive à Londres trouve les choses bien changées en philosophie comme dans tout le reste. Il a laissé le monde plein, il le trouve vide. A Paris, on voit l'univers

(1) Lettre du 30 octobre 1732.
(2) Lettre du 2 novembre 1732.

composé de tourbillons de matière subtile ; à Londres, on ne voit rien de cela. Chez nous, c'est la pression de la lune qui cause le flux de la mer ; chez les Anglais, c'est la mer qui gravite vers la lune... Chez vos cartésiens, tout se fait par une impulsion qu'on ne comprend guère ; chez M. Newton, c'est par une attraction dont on ne connaît pas mieux la cause. A Paris, vous vous figurez la terre faite comme un melon ; à Londres, elle est aplatie des deux côtés. La lumière, pour un cartésien, existe dans l'air ; pour un newtonien, elle vient du soleil en six minutes et demie. Votre chimie fait toutes ses opérations avec des acides, des alcalis, et de la matière subtile : l'attraction domine jusque dans la chimie anglaise. » (1)

Entre les deux théories, Voltaire donnait assurément la préférence aux idées de Newton, dont la philosophie lui apparaissait comme un « chef-d'œuvre », à côté duquel le cartésianisme n'était qu'un « essai ». « Mais, ajoutait-il (2), celui qui nous a mis sur la voie de la vérité vaut peut-être celui qui a été depuis au bout de cette carrière. » C'était en quelque sorte, par cet éloge de Descartes, se donner le droit d'insister sur les mérites de Newton et sur la valeur de son œuvre.

Si nous pouvons négliger ce que dit Voltaire de la Chronologie de Newton, et de sa géométrie de l'infini, deux lettres restent particulièrement importantes pour notre examen, celles qui concernent l'attraction et l'optique. Nous ne tarderons pas à retrouver, plus longuement et plus scientifiquement exposées, les idées de Voltaire sur l'*Optique* de Newton, puisque c'est à cette partie de l'œuvre du savant anglais que sont surtout consacrés les *Eléments de la philosophie de Newton*, publiés en 1738. Aussi devons-nous porter avant tout notre attention sur la lettre traitant du système de l'attraction.

Ce qui en ressortait avec le plus de netteté, c'était d'abord la ruine de la physique tourbillonnaire : « M. Newton semble

(1) Lettre XIV (éd. Beuchot, XXXVII, p. 186-187).
(2) *Op. cit.*, p. 193.

anéantir sans ressource tous ces tourbillons grands et petits, et celui qui emporte les planètes autour du soleil, et celui qui fait tourner chaque planète sur elle-même. » (1) Le passage dans lequel Voltaire reprenait les plus essentielles des objections de Newton en donnait un résumé dont le caractère de vulgarisation ne nuisait pas trop à l'exactitude. En effet, on ne saurait guère nier, pensait-il, le caractère chimérique des tourbillons, puisque « il est impossible de les accorder avec les règles de Képler, dont la vérité est démontrée. M. Newton fait voir que la révolution du fluide dans lequel Jupiter est supposé entraîné n'est pas avec la révolution du fluide de la terre, comme la révolution de Jupiter est avec celle de la terre.

« Il prouve que, toutes les planètes faisant leurs révolutions dans des ellipses, et par conséquent étant bien plus éloignées les unes des autres dans leurs périhélies et bien plus proches dans leurs aphélies; la terre, par exemple, devrait aller plus vite quand elle est plus près de Vénus et de Mars, puisque le fluide qui l'emporte, étant alors plus pressé, doit avoir plus de mouvement, et cependant c'est alors même que le mouvement de la terre est plus ralenti.

« Il prouve qu'il n'y a point de matière céleste qui aille d'occident en orient, puisque les comètes traversent ces espaces, tantôt de l'orient à l'occident, tantôt du septentrion au midi.

« Enfin, pour mieux trancher encore, s'il est possible, toute difficulté, il prouve, ou du moins il rend fort probable, et même par des expériences, que le plein est impossible, et il nous ramène le vide qu'Aristote et Descartes avaient banni du monde. » (2)

A la place de ces tourbillons, Voltaire montrait ensuite comment Newton avait été amené à admettre l'attraction.

(1) *Op. cit.*, p. 195.
(2) *Op. cit.*, p. 196.

Après avoir rappelé le raisonnement de Newton sur l'attraction de la lune par la terre et de ces deux astres par le soleil : « Les autres planètes, continuait-il (1), doivent être soumises à cette loi générale; et, si cette loi existe, ces planètes doivent suivre les règles trouvées par Képler. Toutes ces règles, tous ces rapports sont, en effet, gardés par les planètes avec la dernière exactitude : donc le pouvoir de la gravitation fait peser toutes les planètes vers le soleil, de même que notre globe; enfin, la réaction de tout corps étant proportionnelle à l'action, il demeure certain que la terre pèse à son tour sur la lune, et que le soleil pèse sur l'une et sur l'autre : que chacun des satellites de Saturne pèse sur les quatre, et les quatre sur lui; tous cinq sur Saturne, Saturne sur tous; qu'il en est ainsi de Jupiter, et que tous ces globes sont attirés par le soleil, réciproquement attiré par eux. »

A la suite de quelques précisions sur la manière de calculer l'attraction d'après Newton, Voltaire continuait dans la voie des généralisations, en montrant que le pouvoir de gravitation, d'attraction, agissant dans tous les globes célestes, doit encore exister réellement dans toute la matière et dans les plus petites particules de la matière. « Ainsi voilà l'attraction qui est le grand ressort qui fait mouvoir toute la nature. » (2)

A lire ces textes, il est facile de constater le dogmatisme qui s'étale ici, comme on pouvait s'y attendre dans un tel ouvrage de vulgarisation. Dogmatisme dans la condamnation des tourbillons, sans aucune référence aux essais cartésiens, qui se trouvaient passés sous silence et non critiqués ; dogmatisme surtout dans l'affirmation de l'existence de l'attraction comme propriété de la matière.

Il n'y avait qu'un point sur lequel Voltaire parût faire attention aux objections suscitées contre la théorie newtonienne par les disciples de Descartes. Mais, s'il relevait ainsi le reproche

(1) *Op. cit.*, p. 200.
(2) *Op. cit.*, p. 203.

fait à Newton par Saurin et Fontenelle (1), de ramener la philosophie des qualités occultes et toutes les chimères du péripatétisme, c'était bien surtout, semble-t-il, pour se donner l'occasion de s'opposer énergiquement à cette idée, la plus efficace, à son avis, pour enrayer les progrès du newtonianisme.

Prêtant alors la parole à Newton, il le faisait répondre ainsi à ses critiques : « Je ne me sers du mot d'attraction que pour exprimer un effet que j'ai découvert dans la nature, effet certain et indisputable d'un principe inconnu, qualité inhérente dans la matière, dont de plus habiles que moi trouveront, s'ils peuvent, la cause » (2). Et encore : « Je suis dans un cas bien différent des anciens ; ils voyaient, par exemple, l'eau monter dans les pompes et ils disaient : l'eau monte parce qu'elle a horreur du vide ; mais moi, je suis dans le cas de celui qui aurait remarqué le premier que l'eau monte dans les pompes, et qui laisserait à d'autres le soin d'expliquer la cause de cet effet. L'anatomiste qui a dit le premier que le bras se remue parce que les muscles se contractent, enseigna aux hommes une vérité incontestable ; lui en aura-t-on moins d'obligation parce qu'il n'a pas su pourquoi les muscles se contractent ? La cause du ressort de l'air est inconnue, mais celui qui a découvert ce ressort a rendu un grand service à la physique. Le ressort que j'ai découvert était plus caché, plus universel ; ainsi on doit m'en savoir plus de gré. J'ai découvert une nouvelle propriété de la matière, un des secrets du Créateur : j'en ai calculé, j'en ai démontré les effets ; peut-on me chicaner sur le nom que je lui donne ?

« Ce sont les tourbillons qu'on peut appeler une qualité occulte, puisqu'on n'a jamais prouvé leur existence. L'attraction, au contraire, est une chose réelle, puisqu'on en démontre les effets, et qu'on en calcule les proportions. La cause de cette

(1) Il renvoyait sur la question au mémoire de Saurin à l'Académie des Sciences, en 1709, et à l'*Eloge de Newton* par Fontenelle.

(2) *Op. cit.*, p. 204.

cause est dans le sein de Dieu. » (1) Newton parlait ainsi avec trop de conviction, dans les *Lettres anglaises*, pour ne pas être l'interprète de la pensée même de Voltaire.

53. — Nous proposerions volontiers de considérer comme la contre-partie cartésienne des *Lettres anglaises* le *Traité de l'opinion* (2), que fit paraître, la même année, Legendre de Saint-Aubin.

La physique lui paraissait se présenter sous la forme d'une opposition très nette entre la théorie du vide et celle du plein, c'est-à-dire entre le newtonianisme et le cartésianisme : « Les philosophes qui ont admis le vide mêlaient ensemble le plein et le vide, mais Newton a soutenu en dernier lieu que les espaces célestes étaient entièrement vides de toute matière ; sentiment qu'il ne propose pas comme une hypothèse, mais qu'il veut faire passer pour une vérité incontestable. Cette matière subtile que les cartésiens font le principe de toute fécondité, et le lien nécessaire à la communication de tous les mouvements, Newton l'a regardée comme propre à causer, si elle existait, un engourdissement général dans la nature. Les anciens et les modernes ne sont pas plus opposés dans leurs sentiments, que les modernes le sont entre eux. » (3)

Mais, après avoir donné ainsi une idée succincte des deux systèmes, Legendre de Saint-Aubin ne tardait pas à marquer sa préférence pour le cartésianisme, en s'attaquant de la façon la plus vive à l'idée fondamentale de la théorie de Newton, la notion d'attraction. En faisant d'ailleurs de cette conception newtonienne de l'attraction une sorte de prolongement des théories antérieures à celle de Descartes, il se rendait la critique plus facile.

« Le système des attractions, qui paraissait détruit par le

(1) *Op. cit.*, p. 205-206.

(2) *Traité de l'opinion ou Mémoires pour servir à l'histoire de l'esprit humain*, 6 vol. in-12, Paris, 1733.

(3) *Op. cit.*, III, p. 67.

cartésianisme, a été renouvelé en dernier lieu par Newton et quelques autres physiciens anglais. Mais ce terme, dans leurs écrits, n'a pas plus de signification que dans ceux des anciens ; et les uns n'expliquent pas davantage que les autres, comment des vertus attractives peuvent agir naturellement. Car il ne s'agit pas d'un corps qui en attire un autre par l'accrochement, comme lorsque j'attire quelque chose avec la main, ou lorsqu'un cheval traîne un fardeau, ou lorsque des corpuscules en attirent d'autres par leur accrochement invisible : les physiciens comprennent ces sortes de mouvements sous le terme de mouvements d'impulsion ; il s'agit par les vertus attractives de quelque chose qu'on n'explique pas (et que je n'ai garde d'expliquer, puisque je ne l'entends pas), qui fait qu'un corps va trouver un autre corps. » (1)

Après avoir exposé par contre l'idée des tourbillons : « Ces principes de mécanique sont clairs et solides, concluait-il (2), et parfaitement conformes aux lois générales du mouvement. L'usage que Descartes en a fait a quelque chose de grand et de magnifique, qui a surpassé de bien loin les pensées de tous les autres physiciens. » Il lui reprochait cependant une contradiction.

« S'agit-il de construire le grand tourbillon, qui a le soleil au centre ? Il y place un amas de matière subtile, dont il compose le soleil, et dans la prodigieuse rapidité de laquelle il croit trouver le principe de la lumière et de la chaleur qui se communiquent à tout le tourbillon ; et en même temps il fait monter à la circonférence la matière compacte du troisième élément et la matière globuleuse du second. Il emploie la première à composer les corps solides et opaques des planètes, et la seconde à répandre partout la lumière. S'agit-il

(1) *Op. cit.*, III, p. 80-81. Il se refusait à voir une « cause vraiment physique et naturelle » dans « cette gravité et cette attraction que Newton suppose gratuitement dans la matière et qui ne signifient rien de plus que les qualités occultes des anciens. » (*Op. cit.*, III, p. 99).

(2) *Op. cit.*, III, p. 82.

ensuite d'expliquer la cause de la pesanteur ? Il établit une manœuvre contraire, il change la disposition de ses trois éléments, et dit que la matière subtile, et après elle la matière globuleuse, étant dans une bien plus grande agitation que la matière compacte du troisième élément, elles ont à proportion plus de force pour tendre à la circonférence et pour s'éloigner du centre, vers lequel elles repoussent les corps solides, qui, étant dans un moindre mouvement, ne peuvent pas faire autant d'effort pour s'en éloigner. » (1)

Mais, bien loin de conclure de ces remarques à une condamnation du système, il se proposait au contraire d'en montrer la supériorité, sous la seule condition d'une rectification, qu'il se croyait d'ailleurs en mesure d'apporter.

« Pour conserver une hypothèse aussi brillante que celle des tourbillons de Descartes, il faut nécessairement réformer un de ces mécanismes contradictoires, et ramener la manœuvre de la nature à un principe simple et uniforme. Or, dans le choix de supprimer l'un ou l'autre de ces deux mécanismes, il ne me paraît pas douteux que le premier, qui place la matière subtile au centre, et fait monter la matière plus compacte à la circonférence ne doive être rejeté, d'autant plus qu'il est également contraire au raisonnement, à l'expérience, aux sentiments de tous les philosophes, et aux principes de Descartes lui-même, qui répète plusieurs fois, dans la troisième et quatrième partie des *Principes de philosophie*, et dans le chapitre huitième du *Traité de la lumière*, que la matière subtile et la matière globuleuse ont beaucoup plus d'agitation que la matière plus compacte, dont les parties sont rameuses et branchues, et de figure fort irrégulière ; et dans le quatrième livre des *Principes*, il établit cet axiome, que les parties de la matière qui ont le plus d'agitation sont celles qui font le plus d'effort pour s'éloigner du centre, et qui ont le plus de force pour gagner la circonférence. » (2)

(1) *Op. cit.*, III, p. 84-85.
(2) *Op. cit.*, III, p. 85-86.

Partant de là, « je vais essayer, continuait-il (1), une réforme du système de Descartes, qui, en corrigeant tout ce qu'il y a de contradictoire, conservera l'hypothèse des tourbillons ; la proposition est fort simple, elle ne consiste qu'à composer le soleil comme étant au centre, de celui des trois éléments qui doit occuper cette place. Suivant les lois générales du mouvement et les principes mêmes de Descartes, c'est la matière la plus compacte, et qui par elle-même a le moins de mouvement, qui doit être au centre : cette matière est aussi la seule qui puisse répandre par son embrasement la chaleur et la lumière dont tout le tourbillon a besoin, et communiquer jusqu'à ses extrémités le mouvement qui lui est nécessaire pour résister à la pression et aux efforts des autres tourbillons qui l'environnent. » Mais cette matière ne suffirait pas, surtout parce qu'elle ne parviendrait pas à s'embraser elle-même (2). Par conséquent, « ces principes des trois éléments de Descartes étant bien entendus, on concevra aisément que la matière dont le soleil doit être composé au centre du tourbillon, est la matière compacte du troisième élément, pénétrée de la matière subtile du premier, en sorte que les globules du second élément n'y sont presque point admis, ou qu'ils en sont chassés par la matière subtile, qui y domine et qui y cause le plus ardent de tous les feux. » (3)

Ce nouvel essai en vue d'une réforme des tourbillons montrait jusqu'à quel point les cartésiens se préoccupaient de maintenir, en présence des progrès du newtonianisme, le point de vue de Descartes.

54. — Cependant, si le cartésianisme n'avait plus eu que de tels partisans, il aurait été bien vite amené à céder devant

(1) *Op. cit.*, III, p. 91.

(2) Par contre, « la matière subtile n'a pas assez de consistance pour former toute seule et par elle-même aucun être matériel séparé ; elle ne compose rien, mais elle s'insinue partout. » (*Op. cit.*, III, p. 97).

(3) *Op. cit.*, III, p. 92-93.

l'influence croissante de Newton. Mais, tandis que le *Traité de l'opinion* faisait échec aux *Lettres anglaises*, Maupertuis trouvait en face de lui tous les cartésiens de l'Académie des Sciences, bien résolus à maintenir, autant qu'il leur serait possible, la théorie des tourbillons.

Après avoir rappelé les deux lois de Képler, Privat de Molières, dès le début de son mémoire sur *Les lois astronomiques des vitesses des planètes dans leurs orbes, expliquées mécaniquement dans le système du plein*, formulait ainsi l'objection à laquelle nous avons vu Maupertuis attacher une importance toute spéciale : « On prétend que, si un tourbillon était le principe des mouvements des planètes, il y aurait une *incompatibilité nécessaire* entre ces deux lois : de telle sorte que, si les planètes en suivaient une, elles ne pourraient suivre l'autre, et que, de quelque façon que l'on puisse tourner et retourner le tourbillon, il sera toujours impossible d'y trouver l'accord de ces mouvements. » (1)

« Mais j'ose espérer, au contraire, ajoutait-il aussitôt, de démontrer ici, par tout le calcul de M. Newton, que, bien loin qu'il y ait dans le tourbillon une telle incompatibilité entre ces deux lois, l'une est une suite nécessaire et mécanique de l'autre. »

Il estimait que, dans l'hypothèse d'un tourbillon sphérique, ce qu'il avait démontré lui-même d'un tel tourbillon dans son mémoire de 1728 (§ 37) suffisait à faire disparaître la difficulté. Quant à l'hypothèse d'orbites elliptiques, il faisait remarquer que, puisque l'on suppose dans ce cas l'accord des deux lois de Képler possible dans le système de Newton, « s'il y a quelque impossibilité pour l'accord de ces deux lois dans le système des tourbillons, elle ne peut venir que du côté des causes physiques, et non d'une raison purement géométrique. » (2)

(1) *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1733, p. 419.
(2) *Op. cit.*, p. 424-425.

S'appuyant alors sur la démonstration même par laquelle Newton établissait que deux mobiles T et M, décrivant dans un espace non résistant des orbites elliptiques ayant un foyer commun, doivent observer dans leurs mouvements les deux lois de Képler, à condition que ces mobiles tendent au foyer en vertu d'une force centripète inversement proportionnelle aux carrés de leurs distances, il en tirait comme conclusion « que si l'on vient à démontrer qu'il peut y avoir dans le tourbillon une disposition purement mécanique qui produise dans tous les points de son équateur les mêmes effets que la force centripète, supposée par M. Newton, peut produire dans les mobiles T, M ; et que, par conséquent, l'on puisse substituer cette disposition du tourbillon, à la place de la force centripète de M. Newton, sans rien changer à sa démonstration pour tout le reste ; on aura trouvé dans le tourbillon tout ce que M. Newton tire de sa force centripète, sans qu'il soit nécessaire d'admettre pour principe une telle force dans la Nature » (1).

Or, si en laissant aux mobiles une force centrifuge en raison inverse des carrés des distances (force qui, dans le calcul de Newton, fait équilibre à la force centripète supposée), on pose autour des deux orbites elliptiques que décrivent les mobiles deux superficies elliptiques inébranlables, les conditions du calcul ne sont pas changées (2), et par conséquent les lois de Képler continuent à s'appliquer aux mouvements des mobiles comme elles s'y appliquent dans l'hypothèse newtonienne.

Encore faut-il pour cela : 1° que la force centrifuge des mobiles soit bien en raison inverse des carrés des distances ; 2° que l'on puisse expliquer l'existence de superficies ellip-

(1) *Op. cit.*, p. 426.

(2) En effet « c'est un principe reçu, que lorsque deux forces égales sont en équilibre, et qu'elles produisent un certain effet, on peut substituer à la place d'une de ces forces un point d'appui inébranlable, sans que par cette substitution le même effet en reçoive aucune altération. » (*Op. cit.*, p. 426). Or les superficies elliptiques ne seraient ici considérées que comme des suites d'appuis inébranlables.

tiques. Privat de Molières pensait être en mesure d'établir ces deux points.

Pour le premier, il rappelait la démonstration de son mémoire de 1728, établissant « que les forces centrifuges de tous les points d'un tourbillon sphérique sont entre elles en raison inverse des carrés de leurs distances au centre. Et il est clair, ajoutait-il, que dans un tourbillon elliptique, qui différera peu du sphérique, il s'en faudra peu que ces forces ne soient dans le même rapport. » (1)

Quant au second point, « la résistance que les tourbillons environnants apportent à la force centrifuge des points de ce tourbillon-ci, qui croît et décroît en raison inverse du carré de la distance, doit produire en eux les mêmes effets, et être par conséquent substitué à la force centripète dont M. Newton a tiré les mêmes conclusions. » (2)

Ainsi cette transposition du calcul de Newton du système du vide dans celui du plein apparaissait pleinement satisfaisante ; et la substitution possible d'une certaine disposition mécanique du tourbillon à la force centripète supposée par Newton permettait de conclure que « bien loin qu'il y ait dans le tourbillon aucune incompatibilité réelle entre les deux lois de Képler, l'une est une suite nécessaire de l'autre. » (3)

(1) *Op. cit.*, p. 430. D'ailleurs, « comme il ne s'agit pas ici de discuter si ces points auront ou n'auront pas cette force qui croît et décroît en raison inverse du carré de la distance, mais seulement si, supposé qu'ils l'aient dans la précision la plus exacte, il est impossible qu'ils décrivent des aires proportionnelles aux temps ; nous pouvons supposer d'abord ici que ces points ont une telle force, pour voir si cette supposition nous conduira, comme on le prétend, à cette impossibilité. »

(2) *Op. cit.*, p. 431.

(3) « Peut-être que ce qui a porté à croire qu'il y avait de l'incompatibilité dans les lois astronomiques de Képler considérées dans le tourbillon, c'est qu'on a pensé que ces points ne pouvaient jamais décrire que ces cercles concentriques compris dans un même plan, et que si un mobile emporté par les courants d'un tourbillon décrivait des ellipses, cela ne venait pas de ce que ces courants étaient elliptiques et parfaitement semblables à l'orbite du mobile, mais parce que ces courants étant circulaires,

Bien plus, non content de montrer que le système des tourbillons ne le cédait en rien sur ce point à la théorie newtonienne de l'attraction, Privat de Molières prétendait encore faire ressortir la supériorité de la conception cartésienne.

En effet, « il arrivera que, si ce n'est qu'à peu près que les points du tourbillon aient cette force qui croît et décroît en raison inverse du carré de la distance, les aires que ces points décriront ne seront aussi qu'à peu près proportionnelles aux temps ; ce qui sera encore plus conforme aux observations astronomiques qui donnent ces *à peu près ;* et non ces précisions géométriques auxquelles on voudrait réduire le phénomène ; de sorte qu'il n'arrivera de là rien autre chose, sinon que les forces mécaniques du tourbillon nous fourniront avec plus de précision les lois astronomiques telles qu'elles sont en effet, que ne peuvent faire les forces purement métaphysiques de M. Newton, qui les donnent dans une trop grande précision géométrique. » (1)

le mobile, en vertu d'un certain balancement acquis originairement, passait de l'un de ces courants dans l'autre et les traversait tous successivement en décrivant une ellipse.

« Dans cette supposition j'avoue qu'il y aurait de la difficulté, et peut-être de l'impossibilité, à concilier les deux lois astronomiques dont nous parlons, parce qu'il ne paraît pas que ce balancement supposé gratuitement soit une cause suffisante pour contraindre le mobile à décrire une ellipse.

« Mais toutes ces causes imaginées au besoin, et qui n'ont point une origine constante dans le mécanisme universel de la Nature, sont de pures chimères. Et M. Newton a très grande raison de rejeter de pareilles hypothèses, qui non seulement contiennent souvent plus de difficultés que l'on n'en a à expliquer, mais qui ordinairement vont se heurter de front contre les principes les plus clairs des mécaniques. » (*Op. cit.* p. 432-433). L'allusion au mémoire de Bernoulli (§ 43) est suffisamment claire ; et, si cette critique peut surprendre de la part d'un cartésien, elle est bien de nature à mettre en lumière comment la solution d'une difficulté ne faisait alors qu'en créer de nouvelles, ou au moins en faire apparaître avec plus d'insistance certaines autres momentanément négligées. Notons cependant que, même en tenant compte du « peut-être » par lequel débute cette remarque, l'exagération reste peu contestable ; l'objection reprise par Maupertuis ne pouvait s'expliquer ainsi, puisqu'elle existait déjà chez Newton.

(1) *Op. cit.*, p. 432. Cette remarque inspirait à Fontenelle cette autre

Si, indépendamment des conclusions du mémoire, nous en considérons spécialement la méthode, il n'est pas sans intérêt de remarquer que ce sont les calculs mêmes de Newton qui se trouvaient ainsi mis au service de la cause du cartésianisme. Cette attitude était la suite de la tendance, déjà signalée plus haut à diverses reprises, qui rendait de plus en plus les cartésiens soucieux d'utiliser tout ce que le newtonianisme pouvait avoir, à leur point de vue, de solide et d'acceptable. « M. l'abbé de Molières, remarquait avec autant de finesse que de satisfaction le brillant secrétaire de l'Académie des Sciences (1), conserve donc toute la belle théorie de M. Newton, seulement il la rend en quelque sorte moins newtonienne, en la dégageant de l'attraction, et en la transportant dans le plein. Ce plein, où elle n'est pas née, lui étant rendu, elle n'a plus besoin de l'attraction, et ce n'est pas là un malheur pour elle. » Or il y avait là, croyons-nous, quelque chose de symptomatique pour l'évolution ultérieure de la pensée scientifique ; cette manière de distinguer chez Newton entre ce qu'il y avait de proprement newtonien, pourrions-nous dire, pour reprendre la formule de Fontenelle, et ce qui apparaissait comme plus général, ou du moins plus généralisable, n'était-elle pas, qu'on le voulût ou non, un pas vers l'acceptation des théories newtoniennes ?

55. — Privat de Molières ne se contenta pas d'ailleurs d'ajouter ce mémoire à ceux, déjà nombreux, dans lesquels il avait antérieurement défendu le cartésianisme. En 1733, il publia encore le premier volume de ses *Leçons de physique*,

façon de simplifier le problème : « Il suffirait de répondre à l'objection dont il s'agit, que les deux lois de Képler sont effectivement incompatibles, à la rigueur, dans le tourbillon elliptique ; mais qu'aussi, dans un tourbillon peu elliptique comme le nôtre, il s'en faut peu qu'elles ne s'accordent, et cela sera confirmé par toutes les observations. » (*Histoire de l'Académie des Sciences*, 1733, p. 129-130).

(1) *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1733, p. 131.

dans lesquelles il allait successivement donner au public l'essentiel de ses cours au Collège Royal.

« Les *Leçons de physique*, avertissait Fontenelle (1), en contiennent les *Eléments déterminés par les seules lois des mécaniques ;* et ces expressions mises en titre, où il peut paraître une affectation inutile et vicieuse (car ne sait-on pas bien que les éléments de la physique ne peuvent être déterminés que par les lois des mécaniques ?), ne disent pourtant rien que de raisonnable et même de remarquable, depuis que de très grands philosophes ont voulu introduire dans la physique des principes qu'ils reconnaissaient eux-mêmes pour n'être nullement mécaniques. On aura donc ici une physique entièrement purgée des principes hétérogènes, pour ainsi dire, qui la défigureraient; non pas cependant une physique tout à fait cartésienne, mais établie sur les fondements de Descartes, qui sont les seuls, mieux employés seulement et mieux mis en œuvre. »

Au cours de son compte rendu très élogieux de ce livre, le secrétaire de l'Académie saisit toutes les occasions de manifester son attachement au système des tourbillons, exposé ici avec tant de force, « de ces tourbillons qui se présentent si agréablement à l'esprit philosophique, qui, en effet, ont eu d'abord tant d'approbateurs et de partisans zélés, et ensuite des ennemis si redoutables. » Il laissa paraître aussi sa surprise devant la faveur rencontrée par les théories newtoniennes, trouvant « surprenant qu'on ait fait entrer des attractions inintelligibles dans une matière où l'on pouvait voir que les seules forces centrifuges bien connues et bien avérées suffisaient. »

Puis il terminait : « Quand on a bien saisi ce système cartésien tel qu'il est rédigé et rectifié par M. l'abbé de Molières, quand on a conçu cette matière immense divisée en tourbillons, où s'exercent à la fois une infinité de mouvements qui

(1) *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1734, p. 129. Fontenelle précisait d'ailleurs que le volume venait de paraître « cette année 1734 ». Cependant la date imprimée sur le volume était 1733.

ne s'embarrassent, ni ne se troublent, où tout est plein d'action, de vie et de ressources, s'il en est besoin, où rien n'agit que par des causes, dont l'existence nous est bien constante, et l'idée bien familière, il semble qu'on ne puisse plus, sans se faire quelque violence, se figurer un univers qui n'est qu'un vide, un néant infini en comparaison de quelques atomes en très petit nombre qui y sont dispersés ça et là et qui n'ont d'autre moyen d'agir les uns sur les autres qu'une propriété incompréhensible qu'on leur attribue. » (1)

Le but de Privat de Molières était, ainsi que nous l'apprenons de lui-même, de faire sortir en quelque sorte des principes cartésiens les idées mêmes les plus solides de Newton, faire « naître du système du plein, que Descartes a suivi, le vide même de Newton, ou cet espace non résistant, dont ce philosophe a si invinciblement établi la présence ; et de l'impulsion, cette attraction, ou pesanteur, qui croît et décroît en raison inverse des carrés des distances, de laquelle Newton, sans néanmoins en avoir pû découvrir la cause mécanique, a tiré tant de belles conséquences fondées sur un calcul, dont la sublimité ne retranche rien de l'évidence, et dont ce grand homme est le premier inventeur. » (2)

« Quoique je m'attache principalement au système du plein, précisait-il encore (3), parce que j'espère y rencontrer plus sûrement la continuité du mécanisme, qui est le point que j'ai le plus en vue, je ne ferai néanmoins aucun effort pour combattre le système du vide, dont M. Newton a porté l'établissement au delà de tout ce que ses prédécesseurs avaient pu faire. Je sens trop combien les recherches qu'on y a faites, et que l'on continue d'y faire, sont utiles à la physique pour en détourner qui que ce soit. Mais ce que M. Newton a fait pour l'établissement du système du vide, j'entreprends de le faire pour le rétablissement du système du plein, en répondant dis-

(1) *Op. cit.*, p. 142.
(2) *Leçons de physique*, I. Remarques générales, p. VIII.
(3) *Op. cit.*, p. XI.

tinctement à toutes les difficultés qui semblent maintenant le détruire : afin que ces systèmes allant de pair, ils puissent contribuer tous deux également à la perfection de la physique. »

Cette reconnaissance du mérite de Newton, que nous ne croyons pas devoir présenter comme une concession toute apparente, n'en restait pas moins tellement subordonnée à l'admission des grandes thèses cartésiennes, que l'ouvrage était bien en effet de nature à justifier tout l'enthousiasme de Fontenelle.

« C'est une des choses à quoi ceux qui construisent l'Univers doivent avoir le plus d'attention, qu'à se ménager des ressources pour la longue durée de ce grand édifice. Il ne leur siérait guère de dire que le souverain Architecte y remettra la main dans le besoin. » (1)

La première condition pour la longue durée de l'Univers paraît être le maintien même du mouvement. Aussi Privat de Molières, après avoir étudié, dans une première leçon, les lois générales du mouvement uniforme en ligne droite, considérant que cette espèce de mouvement ne pouvait fournir en quelque sorte le principe constitutif de l'Univers, en arrivait-il à considérer, dès sa deuxième leçon, les lois générales du mouvement en ligne courbe et les propriétés du tourbillon. En effet, tandis que des mouvements en ligne droite et de même sens imprimés aux diverses parties de l'Univers eussent soulevé un problème insoluble sur la direction de ces mouvements, des mouvements en différents sens eussent obligé à expliquer comment les mouvements contraires ne se seraient pas détruits et n'auraient pas amené finalement l'Univers à un état de repos général. Rien de tel dans la conception tourbillonnaire du monde, qui, sans obliger, en quelque sorte, le monde à sortir de ses propres limites, comme dans l'hypothèse des mouvements en ligne droite de même sens, assurait

(1) FONTENELLE. *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1734, p. 138.

le minimum de mouvements contraires et le maximum de directions de même sens.

Une condition non moins essentielle de conservation de l'Univers est l'équilibre des diverses couches; et, comme cet équilibre lui-même suppose l'égalité des forces centrifuges des couches, Privat de Molières, partant de là dans sa théorie, tirait de l'égalité des forces centrifuges des couches sphériques les rapports des vitesses des différentes couches entre elles et ceux que les distances au centre du mouvement ont avec les temps des révolutions.

Sa méthode de calcul, qui tenait compte sur bien des points de celle de Newton, s'en écartait cependant, ainsi que le précisait Privat de Molières ; car « M. Newton n'ayant pas jugé à propos de déduire les propriétés du tourbillon sphérique de celles du tourbillon cylindrique, dont la formation est si naturelle, la nouvelle hypothèse qu'il fait, dans sa prop. 52, pour la formation du tourbillon sphérique, l'a si fort écarté des conséquences qu'il aurait naturellement pu tirer du principe qu'il venait d'établir dans sa prop. précédente qu'au lieu d'en déduire les lois astronomiques que Kepler avait observées, il en a déduit de toutes contraires ; ce qui l'a enfin porté à abandonner le système du mécanisme et à conclure, dans son scholie général qui est à la fin de ses *Principes :* que ni la pesanteur, ni le ressort, etc., ni les divers mouvements des planètes, des comètes, etc., ne tiraient leur origine des causes mécaniques ; et que le système même du mécanisme ne pouvait avoir lieu dans la physique expérimentale.

« Pour retenir le mécanisme, dans ce point important, il n'y avait qu'à poursuivre la découverte des propriétés du tourbillon, en le transformant de cylindrique en sphérique, par la seule inscription d'une superficie sphérique ; sans rien changer à ce qu'on en avait déjà déduit que ce que cette nouvelle disposition demandait qu'on y changeât. » (1)

(1) *Leçons de physique*, I, p. 113-114.

Reprenant alors les démonstrations de son mémoire de 1728 (§ 37), il trouvait la règle de Kepler sur le rapport des distances des planètes au soleil à leurs temps de révolution vérifiée dans le plan de l'équateur et dans les superficies coniques ayant pour sommet le centre du tourbillon et pour bases les différents cercles parallèles à l'équateur. Ce qui « montre clairement, faisait-il remarquer de nouveau (1), que le système de Descartes, qui veut que le tourbillon soit le principe du mouvement des planètes, ne renferme rien de contraire en ce point aux lois des mécaniques; et est en même temps une confirmation bien expresse de la certitude de nos principes qui n'auraient pu nous conduire jusqu'à un point si éloigné, s'ils n'étaient pas en effet les lois de la Nature. »

Quant à la loi des aires, elle ne lui paraissait pas plus incompatible avec l'existence des tourbillons, puisqu'il établissait encore que « dans le plan de l'équateur d'un tourbillon sphérique, les aires que décrit le rayon d'un point quelconque mené au centre des forces, d'où il tend à s'éloigner, sont entre elles comme les temps que le mobile emploie à décrire les arcs de son orbe, qui terminent ces aires. » (2)

Par là « on voit donc clairement que les deux lois astronomiques de Kepler s'accorderont dans le tourbillon sphérique, et que par conséquent, si les satellites de Jupiter, qui décrivent des cercles concentriques à cet astre, se meuvent en vertu d'un tourbillon, leurs distances au centre de Jupiter pourront être entre elles comme les racines cubiques des carrés des temps de leurs révolutions, sans que cela empêche que leurs rayons vecteurs ne décrivent des aires proportionnelles aux temps que chacune de ces planètes emploie à parcourir les divers arcs de son orbe.

« On verra dans la suite qu'il en sera de même à l'égard des planètes qui circulent autour du soleil, quoique ces planètes

(1) *Op. cit.*, p. 155.
(2) *Op. cit.*, p. 157.

décrivent des ellipses, dont le soleil est le foyer commun ; et que, les points de leurs orbes n'étant pas à une égale distance du centre de leurs mouvements, leurs vitesses ne soient pas uniformes. » (1) Privat de Molières rejoignait là à la fois les conclusions de son mémoire de 1729 (§ 37) et celles de sa dissertation toute récente de 1733 (§ 54). Nous savons déjà que, dans ces travaux, il faisait appel à la théorie des petits tourbillons du P. Malebranche. Aussi ses *Leçons de physique* donnaient-elles également une place à cette hypothèse (2). Tout s'expliquait par conséquent par les calculs sur les tourbillons composés.

56. — C'était encore au P. Malebranche que Privat de Molières empruntait son explication de la pesanteur.

Faisant allusion à la théorie cartésienne, il estimait que, malgré toutes les tentatives des disciples de Descartes pour en faire disparaître les grandes difficultés, on ne pouvait guère méconnaître la valeur de l'objection de Huygens : l'excès de vitesse que devrait avoir la matière céleste par rapport à la terre pour produire la pesanteur devrait avoir d'autres répercussions. Non seulement il devrait y avoir un entraînement horizontal des

(1) *Op. cit.*, p. 161-162.

(2) « La substitution que nous faisons ici, avec le P. Malebranche, des petits tourbillons aux globules durs de Descartes, n'est pas une nouvelle hypothèse ; c'est plutôt une suite du principe établi que, dès le commencement, la matière a dû être divisée et subdivisée, tant qu'il était nécessaire pour la production des effets naturels, et qui va au rabais des suppositions ; puisque, au lieu du faux principe de la dureté, que nous ne considérons que comme un phénomène et un effet du mouvement, nous lui substituons une simple subdivision de la matière.

« D'ailleurs, ces petits tourbillons ayant toute la souplesse que l'on peut désirer, on voit avec évidence que les frottements que l'on craignait tant, dans le tourbillon simple, ou formé de petits globules durs, n'ont pas lieu dans le tourbillon composé de petits tourbillons élastiques, dont la souplesse fait qu'ils cèdent au moindre effort, et qu'ils prennent à chaque instant, sans se détruire, la figure convenable aux divers lieux où ils se trouvent. » (*Op. cit.*, p. 205-206).

corps pesants, comme l'avait pensé Huygens, mais cette différence de vitesse entre deux couches contiguës d'un tourbillon ne pourrait guère être comprise mécaniquement (indépendamment même de la difficulté qu'il y aurait à la concilier avec les observations astronomiques et la loi de Képler.)

En effet, « la terre et les corps qui l'avoisinent ne doivent pas circuler moins vite que la matière éthérée. puisque la terre ne circule autour de son axe que parce que cette matière la fait circuler, et qu'il est visible que, quand bien même il y aurait eu un temps où la terre aurait circulé moins vite que la matière éthérée, elle aurait enfin acquis la même vitesse, par la raison que, la terre n'étant retenue par aucun endroit, et étant continuellement poussée par la matière environnante qui irait plus vite qu'elle, elle aurait reçu sans cesse un nouvel accroissement de vitesse. D'où il suit que la vitesse avec laquelle elle circule serait enfin parvenue à égaler celle avec laquelle la matière fluide du tourbillon aurait circulé. La pesanteur des corps qui nous environnent ne peut donc procéder de cet excès de vitesse de la matière éthérée sur celle de ces corps. » (1)

Mais, si Privat de Molières se séparait ainsi de Descartes, en s'inspirant même sur ce point autant de Newton que de Huygens, ce n'était pas cependant pour se rallier à l'explication newtonienne. Non qu'il fût retenu, comme certains, par une interprétation inexacte de cette thèse ; car il s'attachait au contraire à mettre au point la pensée de Newton : « Ainsi quand M. Newton dit que la pesanteur dans les corps est une de leurs qualités constantes, comme l'impénétrabilité, par exemple; il ne faut pas croire qu'il ait voulu faire entendre par là qu'il pensait que la pesanteur ne pouvait ni augmenter ni diminuer dans le même corps, lorsque ce corps s'approchait ou s'éloignait du centre où il tend, comme en effet ni sa masse, ni son impénétrabilité n'augmentent ni ne diminuent dans ce cas. Au contraire, tout le système de M. Newton est fondé sur ce

(1) *Op. cit.*, p. 286-287.

principe : que la pesanteur d'un même corps augmente ou diminue en raison inverse des carrés des distances.

« Mais il a seulement voulu nous faire entendre qu'à cette augmentation ou diminution près, à laquelle la pesanteur est sujette, la pesanteur demeure constante, ou suit la même loi, ici comme à la lune, et dans tout le reste de l'univers ; c'est-à-dire qu'elle n'augmente ou ne diminue jamais dans un autre rapport, comme serait par exemple celui des cubes des distances réciproques ou de leurs carré-carrés, etc.

« Ainsi M. Newton n'a jamais nié ; au contraire, il a fortement établi, comme le fondement de son système, que la pesanteur d'un même corps augmentait ou diminuait en raison inverse des carrés des distances au centre où il tendait, sans que sa masse ou la quantité de matière qu'il contient augmentât ou diminuât en aucune sorte ; et qu'elle était toujours égale à la vitesse accélératrice du mobile, en quelque lieu qu'il se trouvât, lorsque la masse demeurait la même. Ce qu'il faut bien remarquer. » (1)

Pourtant, même après de tels éclaircissements, Privat de Molières se refusait à donner pour cause physique à la pesanteur quelque force attribuée préalablement au mobile. Une telle supposition ne pouvait s'accorder, à son avis, avec le mouvement accéléré du mobile, non seulement dans le vide, mais aussi dans un fluide moins pesant que lui. Puis il concluait ses démonstrations sur les mouvements d'un corps plongé dans un fluide par cette remarque : « Ce que l'on vient de dire peut suffire pour faire comprendre comment, lorsqu'un mobile plongé dans l'eau monte ou descend par un mouvement uniformément accéléré, cet effet ne peut procéder que du mouvement des parties de l'eau, ou de tout autre fluide, qui produit à chaque instant dans le mobile la vitesse qui lui est nécessaire pour monter ou descendre et accélérer son mouvement ; et de la grande facilité attribuée aux globules du fluide, pour se

(1) *Op. cit.*, p. 257-259.

prêter à toutes les impressions que la pesanteur des parties du fluide peut leur donner.

« D'où il suit qu'il ne sert de rien de faire tant valoir l'hypothèse de Galilée contre le système du plein ; puisque cette hypothèse, qui suppose une pesanteur propre au mobile, ne peut avoir son effet que dans le vide, et échoue si on veut l'appliquer au mouvement d'un mobile dans un fluide. Qu'il faut nécessairement retourner l'hypothèse dans cette occasion, comme Copernic a retourné le système de Ptolémée pour expliquer mécaniquement le mouvement des astres ; et faire procéder cette force accélératrice, non d'aucune impulsion, attraction ou autre vertu attribuée préalablement au mobile ; mais de l'impulsion et du mouvement des parties du fluide qui agissent toutes mutuellement sur le mobile par leur pesanteur, ou par leur tendance à s'approcher ou à s'éloigner du centre de la terre, de laquelle il faut maintenant tâcher de découvrir la cause » (1).

Nous savons déjà que l'explication de Descartes ne satisfaisait pas Privat de Molières, mais celui-ci établissait, dans la proposition XV de sa quatrième leçon, que « dans un tourbillon composé de petits tourbillons, si, à quelle distance on voudra de son centre, on pose un mobile dur, ou dont les parties ne soient pas en petits tourbillons, quoique ce mobile y circule aussi vite que le volume de la matière du tourbillon dont il occupe la place y aurait circulé, le mobile pèsera, ou s'approchera continuellement du centre du tourbillon » (2). Nous ne

(1) *Op. cit.*, p. 282-284.

(2) *Op. cit.*, p. 289. Privat de Molières revenait avec plus d'insistance encore dans une remarque sur les conditions requises pour le phénomène de la pesanteur : « Ainsi pour qu'un mobile placé dans un grand tourbillon, à quelque distance de son centre, pèse ou tende à s'approcher du centre, et s'en approche en effet par un mouvement accéléré, il ne suffit pas que les parties dont le tourbillon est composé soient très petites, il faut encore, comme l'a très bien remarqué le P. Malebranche, que ces parties soient de petits tourbillons.

« Il ne suffit pas aussi que le mobile soit placé dans un espace rempli de petits tourbillons ; si ces petits tourbillons ne tendent pas à s'éloigner

saurions trop insister sur l'inspiration cartésienne de cette explication, substituée à l'explication même de Descartes non par désir d'abandonner le cartésianisme, mais dans le but au contraire d'en adapter les principes d'une façon de plus en plus précise aux résultats des observations et des calculs. En effet, Privat de Molières tirait de là, dans la proposition suivante, que « la pesanteur, ou la force avec laquelle un mobile dur, compris dans un tourbillon composé, tendra à s'approcher du centre de ce tourbillon, sera en raison inverse des carrés des distances du mobile au centre du tourbillon. » (1) Il rejoignait ainsi les calculs de Newton, et, bien loin de s'en défendre, se félicitait au contraire d'avoir trouvé une cause qui permît d'en rendre raison autrement que par des explications verbales : « Nous avons donc enfin, dans le tourbillon composé de petits tourbillons, une cause mécanique de la pesanteur, ou de la force centripète, telle que M. Newton la demande, qui croît et décroît en raison inverse des carrés des distances au centre, et qu'il avoue n'avoir pu déduire de ses suppositions. Elle pro-

d'un centre, ou si ces petits tourbillons ne forment pas un grand tourbillon sphérique. Car, dans ce cas, en quelque endroit que ce soit de cet espace que l'on pose le mobile, les parties du mobile pourront bien être très fortement comprimées les unes contre les autres, par l'effort centrifuge de chacun des petits tourbillons ; mais comme ces petits tourbillons, ne circulant pas autour d'un centre commun, ne tendront pas à se mouvoir plus fortement vers un point que vers un autre, ils ne pourront pas pousser le mobile vers un point plus fortement que vers un autre, le mobile restera donc dans ce cas au lieu où on l'aura posé.

« Mais si ces petits tourbillons forment un grand tourbillon, et qu'ils tendent tous unanimement à s'éloigner du centre de ce tourbillon, comme il doit arriver si le tourbillon qu'ils formeront est sphérique ; alors l'effort que les petites parties dont ils sont composés font pour s'éloigner de leurs propres centres, et qui tend à écarter les centres de ces petits tourbillons les uns des autres, conspirant avec l'effort qu'ils font tous ensemble pour s'éloigner du centre commun de leurs mouvements circulaires autour de ce centre, le mobile qui aura moins de force centrifuge pour s'éloigner du centre qu'un pareil volume de ces petits tourbillons, s'en approchera nécessairement par un mouvement accéléré. Ce qui est, à ce qu'il me semble, d'une évidence parfaite. » (*Op. cit.*, p. 297-299).

(1) *Op. cit.*, p. 299-300.

vient non pas immédiatement de la force centrifuge que la matière du tourbillon acquiert en circulant autour du centre commun, mais de celle qui naît de l'effort que les petits tourbillons, dont le grand tourbillon est composé, font pour s'écarter les uns des autres ; lequel effort est dirigé du centre vers la superficie par la première force centrifuge dont nous venons de parler.

« Et cette cause est d'autant plus mécanique, qu'on ne fait ici consister la différence d'un corps pesant et d'un corps qui ne pèse point, qu'en ce que les parties du corps qui pèse ne sont pas en petits tourbillons, tandis que celles du fluide qui le rend pesant sont en petits tourbillons ; qu'en ce que les parties des corps pesants sont en repos, et celles du corps qui ne pèse point, sont en mouvement. Deux propriétés que généralement tous les philosophes attribuent à la matière sans aucune contradiction.

« Ce qui montre enfin combien le système du plein, dont on peut déduire si clairement des seules lois des mécaniques un phénomène si important, est préférable à celui du vide, qui n'ayant pu fournir à M. Newton même aucun moyen de le faire, l'a obligé de regarder la pesanteur comme un principe universel, et un effet sans cause. » (1)

57. — Privat de Molières ne se dissimulait pas cependant que le système du plein n'allait pas non plus sans de sérieuses difficultés, et il ne manquait pas de mettre au premier rang de celles-ci l'objection tirée par Newton du calcul des résistances. En effet, celui-ci « a prouvé géométriquement, et par les lois du mouvement reçues de tout le monde, que si un corps, qu'on peut supposer sphérique, se meut dans un fluide d'une densité égale à la sienne, il ne peut y parcourir trois fois la longueur de son diamètre sans avoir perdu près de la moitié de sa vitesse initiale, quelque grande qu'elle ait pu être. La raison générale

(1) *Op. cit.*, p. 307-308.

en est, qu'à chaque espace qu'il a parcouru égal à son diamètre, il a dû déplacer nécessairement autant de matière du fluide qu'il en contient lui-même, et une matière toute pareille à la sienne par la supposition. Or il ne l'a pu sans communiquer au fluide de sa force et de sa vitesse, et par conséquent sans en perdre autant, et cette perte se calcule. M. Newton n'avait garde de se trómper au calcul, ajoutait Fontenelle à ce résumé de l'objection considérée (1), et sa démonstration n'a pas été attaquée. »

« D'où M. Newton a conclu, indiquait de son côté Privat de Molières (2), que l'Univers était nécessairement composé de deux sortes d'espaces, l'un immatériel et pénétrable, incapable d'impulsion de mouvement et de force, qu'il appelle *vide*, et l'autre matériel et impénétrable. Que la quantité de matière, qui était répandue dans la vaste étendue de l'Univers, était peu considérable ; et que ses parties laissant entre elles des intervalles plus ou moins grands qui n'étaient remplis de *rien*, pour ainsi dire, formaient des corps plus ou moins denses, selon qu'ils contenaient plus ou moins de matière dans leurs volumes : ce qu'il déterminait par la différence de leurs poids à volume égal.

« Mais nous allons montrer qu'il n'y a pas de nécessité de recourir au vide dans cette occasion, et que notre éther, quelque dense qu'il eût pu paraître à M. Newton, ne doit apporter aucune résistance sensible au mouvement horizontal d'un mobile pesant qui le traverse. »

La question, fort nettement posée ainsi par Privat de Molières, avait, déjà antérieurement à ses *Leçons de physique*, attiré son attention ; et il avait communiqué quelques-unes de ses remarques sur ce point à l'Académie des Sciences en 1731. Ses réflexions avaient été pour Fontenelle l'occasion de développer une explication différente de la résistance nulle d'un fluide, supposé non pesant, à un corps pesant.

(1) *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1731, p. 93.
(2) *Leçons de physique*, I p. 347.

« La pesanteur, disait Fontenelle (1), telle qu'elle est à la surface de notre globe terrestre, et aux environs, fait tomber verticalement un corps de 15 pieds en une seconde. Si elle ne le faisait tomber de cette même hauteur qu'en deux secondes, il est évident qu'elle serait moindre, et toujours ainsi de suite. Si l'on voulait comparer ensemble deux pesanteurs, qui différassent de cette sorte, on trouverait très aisément que l'expression générale de la pesanteur, en tant que force accélératrice, étant l'espace divisé par le carré du temps, les deux pesanteurs seraient le même espace divisé par les carrés des deux temps, et que par conséquent elles seraient entre elles en raison renversée des carrés de leurs temps. » Partant de là et considérant un mouvement inverse, c'est-à-dire vertical de bas en haut, il concluait que les forces mettant alors en mouvement les corps pouvaient être évaluées de la même manière que les pesanteurs.

Puis, par une nouvelle analogie entre le mouvement de chute d'un corps le long d'un plan incliné et l'élévation du même corps le long du même plan incliné, il tirait la force nécessaire à ce second mouvement, exprimée par l'espace vertical constant divisé par le carré du temps.

« Donc, plus le temps est long, continuait-il (2), ou plus la longueur du plan incliné est grande, plus la force nécessaire pour faire remonter ce plan par un corps est petite, ou, ce qui revient au même, moins le corps est pesant par rapport à la force qui le doit mouvoir. Donc, si la longueur du plan est infinie, auquel cas le plan est horizontal, et le temps infini, la force est infiniment petite du second ordre, puisque c'est une fraction dont le numérateur étant toujours une grandeur finie, le dénominateur, qui est toujours le carré du temps, est devenu un infini du second ordre.

« Donc aussi une force infiniment petite du second ordre suffit pour mouvoir un corps horizontalement, ou, ce qui est

(1) *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1731, p. 98.
(2) *Op. cit.*, p. 99-100.

la même chose, un corps ne pèse point à l'égard de la force finie qui tend à lui imprimer un mouvement horizontal. Or le mouvement circulaire d'une planète dans l'éther autour d'un centre n'est à cet égard qu'un véritable mouvement horizontal, et tout le monde en convient. Donc la planète n'a besoin pour surmonter la résistance de l'éther, et en déplacer à chaque instant un volume égal au sien, que de lui imprimer un mouvement horizontal, pour lequel une force infiniment petite du second ordre suffit. Donc dans quelque temps fini que ce soit, la planète ne perdra rien de sa force, ni de sa vitesse. »

Privat de Molières démontrait simplement que, la force nécessaire pour procurer à un mobile une vitesse horizontale étant proportionnelle à la pesanteur, « si la pesanteur du mobile est infiniment petite, ou telle qu'il ne puisse parcourir en tombant du point de repos 15 pieds qu'en une infinité de secondes de temps, la force f qu'il faudra employer pour lui procurer la vitesse horizontale V sera infiniment petite à l'égard de la force F, qu'il faudra employer pour le mouvoir horizontalement avec la même vitesse V, lorsque sa pesanteur est égale à celle des corps graves, ou qu'il parcourt en tombant de son point de repos 15 pieds en une seconde de temps. » (1) Il en concluait que, dans le cas du choc direct et horizontal de deux corps de même quantité de matière, la force dépensée par le corps A pour communiquer son mouvement au corps B est infiniment petite pour un corps B pesant infiniment peu, comme c'est précisément le cas de l'éther. Ainsi se trouvait établie la proposition VIII de la leçon V : « Un corps pesant qui traversera horizontalement l'éther, n'éprouvera aucune résistance en le traversant, par la seule raison que l'éther ne pèse point. Et le mobile ne perdra tout au plus, à chaque fois qu'il parcourra un de ses diamètres, et qu'il déplacera un volume de ce milieu égal au sien, qu'une quantité infiniment petite de sa force et de sa vitesse. » (2)

(1) *Leçons de physique*, I p. 375-376.
(2) *Op. cit.*, p. 367.

Privat de Molières n'avait donc plus besoin pour expliquer l'insensible résistance de l'éther « ni de la division des parties du milieu, ni de leurs mouvements, quoique ces conditions y contribuent » (1). Et il était d'autant plus satisfait de ce résultat que cette explication lui paraissait aussi insuffisante et illusoire que la supposition, dans les corps pesants, de pores par lesquels la matière éthérée pourrait entrer et sortir continuellement (2).

Fontenelle acceptait, avec les cartésiens, de considérer l'éther comme non pesant et le même postulat se retrouvait encore dans cette réponse de Privat de Molières à l'objection newtonienne de la résistance de l'éther. Mais n'y avait-il pas là une affirmation contraire aux principes mêmes de la physique ? Privat de Molières ne le pensait pas et se faisait fort d'écarter la difficulté en dénonçant la confusion faite par Newton de la densité avec la pesanteur. « Il déduit bien, faisait-il remarquer (3), cette identité de ses suppositions, puisqu'il veut qu'on lui accorde que les corps sont essentiellement pesants ; mais les cartésiens n'ont jamais admis les demandes de M. Newton. » Celui-ci ne saurait en aucune manière s'appuyer solidement pour les convaincre sur la densité qu'eux-mêmes accordent à

(1) *Op. cit.*, p. 348.

(2) En effet, « c'est un principe généralement reçu en mécanique : qu'un corps traversant un fluide perd à chaque instant d'autant plus de sa force qu'il a plus de superficie, ou qu'il donne à chaque instant plus de prise par sa superficie à un plus grand nombre de parties du fluide qu'il traverse. Or il est évident qu'il n'y a pas de comparaison à faire entre la quantité de superficie qui touche l'éther, qui traverse à chaque instant les pores tortueux et innombrables de ce mobile en sens contraire à sa direction, et celle qui contient sa demi-superficie sphérique. » (*Op. cit.*, p. 354-355). Bien plus, négligerait-on même ces considérations, il resterait que, puisqu'en multipliant les pores on augmente le diamètre du corps, « au lieu que l'on prétendait que le mobile devait parcourir, avant que d'avoir perdu la moitié de sa vitesse, un nombre de ses diamètres d'autant plus grand, qu'on lui attribuait plus de pores ; il arrive au contraire que, par toutes les lois des mécaniques les plus simples et les mieux connues, le mobile ne doit parcourir qu'une partie de son diamètre d'autant moindre qu'il aura plus de pores. » (*Op. cit.*, p. 364).

(3) *Op. cit.*, p. 369.

l'éther. En effet, « toute la question ne roule que sur une équivoque du mot *dense* que l'on prend ici en divers sens. Ainsi l'éther est dense, comme tous les autres corps, au sens que ses parties ne laissent aucun intervalle entre elles ; mais cette densité, dans le système du plein, n'est pas susceptible du plus ou du moins. Et l'éther n'est pas dense au sens dont on dit qu'est dense le vif argent, l'eau, l'air, etc. Car on ne juge de cette densité, qui est susceptible du plus et du moins que par le poids de ces fluides à volume égal, et les poids de ces fluides ne diffèrent entre eux que parce que l'éther, qui occupe la plus grande partie de leur volume, est chargé de plus ou de moins de parties pesantes ; lesquelles ne sont pas moins denses en elles-mêmes que l'éther de cette densité qui est propre à l'éther; avec cette différence que les premières pèsent et laissent entre elles des intervalles, et que les autres ne pèsent pas, et remplissent très exactement tous ces intervalles. » (1)

« Ainsi, précisait encore Privat de Molières (2), quoique M. Newton ait très bien démontré et bien prouvé par l'expérience que la résistance du milieu que les cartésiens nomment éther est insensible ; il n'a cependant eu aucun droit d'en conclure contre les cartésiens que ce milieu, qui ne fait point de résistance aux mobiles pesants qui le traversent, n'est pas corps, n'est pas matière, et que ses parties sont absolument incapables d'impulsion, de mouvement et de force. »

En considérant au contraire que la doctrine du plein reste conciliable avec la non-résistance, « nous profitons, insistait Privat de Molières (3), sans aucun inconvénient, de tous les avantages du système du vide, sans rien perdre des avantages du système du plein ; et nous réunissons par là deux idées qui avaient paru jusqu'à ce jour absolument incompatibles. Par ce moyen, la plupart des recherches de M. Newton et des découvertes qu'il a faites en suivant le système du vide n'auront

(1) *Op. cit.*, p. 386-387.
(2) *Op. cit.*, p. 390.
(3) *Op. cit.*, p. 401.

plus rien qui puisse paraître dur à ceux même qui sont le plus attachés aux idées cartésiennes ; car rien ne leur sera plus facile que de ramener ces précieuses découvertes au système du plein ; les calculs en seront tout faits, et il n'y aura plus qu'à leur donner une certaine tournure pour en profiter avantageusement.

« En effet, M. Newton n'a réellement démontré autre chose au sujet du vide, par ses raisonnements et par toutes ses expériences, sinon que les espaces célestes et les intervalles que laissent entre elles les parties des corps sensibles n'apportaient aucune résistance sensible au mouvement d'un corps pesant ; ce qui est très véritable et qu'il a très bien prouvé ; mais ce qui est aussi rendu commun, par notre démonstration, à l'un et à l'autre système. Ce milieu, si on le veut, pourra être appelé *vide*, selon l'idée de M. Newton, parce qu'il ne fera point de résistance au mouvement d'un corps pesant qui le traverse. Mais, chez les cartésiens, ce vide ne sera précisément qu'un *vide relatif* ; c'est-à-dire qu'un corps pesant le traversera sans éprouver aucune résistance. Et rien ne les empêchera de penser encore que cet espace est étendu, impénétrable, divisible, capable d'impulsion, de mouvement et de force, comme tout le reste de la matière, et qu'il contient en soi toute la force de l'Univers. »

Et si, dans le système cartésien, cette idée d'une matière non pesante risquait malgré tout d'apparaître comme discutable, elle se trouvait singulièrement renforcée dans sa vraisemblance et dans son intelligibilité par la théorie des petits tourbillons. Aussi Privat de Molières ne manquait-il pas d'en rappeler les grandes lignes, au début même de cette leçon V, qui terminait ainsi le tome I par cette défense ingénieuse de la théorie cartésienne du plein (1).

(1) « D'ailleurs, faisait-il remarquer (*Op. cit.*, p. 324), l'hypothèse des petits tourbillons n'étant au fond qu'une simple extension de celle des grands tourbillons de Descartes ; et la nécessité qui a obligé ce philosophe d'avoir recours aux grand tourbillons, pour introduire le mouvement dans

58. — L'inclinaison des orbites des planètes avait été bien vite, pour les astronomes, un problème fort intéressant ; et tout d'abord on avait calculé la position des diverses orbites par rapport à notre écliptique. Mais « comme il n'y a rien qui doive faire préférer l'orbite d'une planète à celle d'une autre pour y rapporter leurs mouvements, il paraît qu'il est plus convenable de les considérer toutes, sans en excepter l'orbite de la terre, par rapport à l'équateur de la révolution du soleil autour de son axe, que l'on peut avec beaucoup de vraisemblance regarder comme le principe de la direction du mouvement des planètes. » (1)

En effet, « dès que l'on sait que le soleil tourne autour de lui-même, comme toutes les planètes tournent autour de lui, on sent, même avant que de raisonner, et par une espèce d'instinct philosophique, que le grand cercle de la révolution du soleil,

l'Univers d'une façon durable, n'étant pas moindre pour l'introduire dans la matière dont ces grands tourbillons sont formés ; on voit combien la nécessité d'admettre l'hypothèse des petits tourbillons est urgente, et qu'on ne doit plus la regarder, dans le système du plein, comme une supposition arbitraire, mais comme le seul moyen qu'il y ait eu d'y introduire le mouvement, nécessaire à la production des phénomènes. »

Revenant d'ailleurs sur une idée déjà exposée dans son Mémoire de 1729 (§ 37), il ajoutait qu'il convenait de considérer les petits tourbillons du premier ordre (ceux que Malebranche avait substitués aux globules durs de Descartes) comme composés de petits tourbillons du second ordre, ceux-ci eux-mêmes comme composés de petits tourbillons du troisième ordre. Et ceci, non pas à l'infini, mais suivant la nécessité de pousser la division et subdivision de la matière pour expliquer les phénomènes. De la sorte, « on peut concevoir dans la matière autant de différents milieux élastiques que l'on voudra, qui rempliront chacun tout l'Univers sans se confondre, ni se nuire l'un à l'autre dans leur action. » (*Op. cit.*, p. 329).

(1) Cassini. *De l'inclinaison du plan de l'écliptique et de l'orbite des planètes par rapport à l'équateur de la révolution du soleil autour de son axe* in *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1734, p. 149. « Nous nous conformons en cela au sentiment de Képler, qui, quoique la révolution du soleil autour de son axe ne fût pas encore connue, ne laissa pas de juger que cet astre tournait autour d'un axe qui lui était particulier, et qu'à distance égale des deux pôles du soleil, il y avait une écliptique fixe à l'égard de laquelle les orbites des planètes, y compris celle de la terre, étaient inclinées, et avaient chacune un mouvement particulier. » (*Op. cit.*, 149-150).

son équateur, sera le plan dominant auquel il faudra rapporter ceux de toutes les autres révolutions. » (1)

La question s'étant posée avec une insistance croissante, l'Académie avait décidé, en 1730, de la proposer comme sujet pour le prix de 1732 ; et devant l'insuffisance des réponses obtenues, elle l'avait maintenue pour 1734. Bien que le prix eût été partagé entre Jean et Daniel Bernoulli, le mémoire de Bouguer fut publié également cette année-là, en même temps que paraissait dans les *Mémoires de l'Académie* un travail de Cassini. Ces divers ouvrages envisageaient d'ailleurs la question de points de vue différents.

« On avait déjà la position, l'inclinaison de toutes les orbites des planètes à l'égard de l'écliptique, et, ce qui en est une suite nécessaire, les lieux de tous leurs nœuds, c'est-à-dire des points où l'écliptique est coupée par ces différentes orbites. On a su par les taches du soleil que son équateur était incliné de 7° 1/2 sur le plan de l'écliptique, et que les nœuds étaient au dixième des Gémeaux et à l'opposite. Avec ces connaissances et le secours de la géométrie, on parviendra assez facilement à transporter, pour ainsi dire, sur l'équateur du soleil ces mêmes plans qu'on n'avait déterminés que par rapport à l'écliptique, et on pourra même reconnaître qu'on les a tirés d'un état qui ne leur était pas naturel pour les y remettre. En effet la rotation du soleil sur lui-même doit, selon toutes les apparences, être le principe de tout le mouvement de tourbillon du système solaire, et par conséquent toutes les planètes doivent ou circuler toutes dans le plan de l'équateur du soleil, ou ne s'en laisser que peu écarter par quelque espèce de violence. Or les orbites des planètes rapportées à l'équateur du soleil s'en éloignent presque une fois moins de part et d'autre, qu'elles ne s'éloignent de l'écliptique, si on les y rapporte. Elles sont plus serrées vers le plan d'où elles n'auraient pas dû sortir. Il est à remarquer que c'est la terre qui s'écarte le

(1) FONTENELLE. *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1734, p. 86.

plus de cet équateur, elle est à 7° 1/2 et Mercure, qui s'écarte le moins, en est à 3°10′. On entend assez que ces plans transportés à l'équateur du soleil ne le coupent pas dans les mêmes points où ils coupaient notre écliptique ; que les nœuds d'une certaine orbite qui étaient, si l'on veut, au 1er d'Ariès, lorsqu'on la rapportait à l'écliptique, n'y sont plus et en peuvent être même assez loin, lorsqu'on la rapporte à l'équateur du soleil. » (1)

Le problème en étant à ce point, on pouvait se demander si les nœuds ont un mouvement sur cet équateur et quel est ce mouvement. La question était d'autant plus difficile, que les nœuds mêmes étaient loin d'être déterminés d'une manière fort précise et avec une entière assurance. Aussi ne pouvait-on se leurrer et espérer suppléer par le calcul à une longue suite d'observations nécessaires. Mais il n'était pas sans intérêt d'apporter des précisions sur la méthode de calcul susceptible de donner des résultats. Tel était précisément le but du mémoire de Cassini, sur lequel d'ailleurs nous n'insisterons pas plus ici, car il peut assez facilement être isolé de toute considération doctrinale.

Il n'en est pas de même des *Entretiens sur la cause de l'inclinaison des orbites des planètes*, dans lesquels Bouguer s'efforça de répondre directement à la question posée par l'Académie (2). Des trois interlocuteurs fictifs mis en présence dans ces entretiens, le newtonien Théodore n'apparaissait en somme que pour mieux faire ressortir la supériorité des explications cartésiennes. Certes il s'attachait à montrer comment l'attraction n'obligeait pas à revenir aux vertus ou facultés occultes ; car « les attractions, telles qu'elles sont supposées par les Anglais, ou telles qu'elles le doivent être, ne sont pas faites pour n'expliquer qu'un seul phénomène : leur usage est

(1) Fontenelle. *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1734, p. 87-88.

(2) Bien que ce mémoire n'ait obtenu que l'accessit, nous l'analysons avant ceux de Jean et Daniel Bernoulli, parce qu'il avait été déjà présenté pour le prix de 1732.

presque aussi étendu que celui des lois du mouvement »; tandis que, dans l'École, « chaque faculté ou chaque vertu n'était imaginée que pour rendre raison d'un effet particulier, et qu'outre cela on la regardait comme une espèce de substance qui existait indépendamment et à part de la chose qu'elle affectait. » (1) Il alléguait encore, pour écarter l'obscurité apparente reprochée par les cartésiens à la notion d'attraction, qu'il était contraire à une bonne méthode de vouloir expliquer les attractions par les lois du mouvement ; car « les lois de la nature sont parallèles : ce sont des sources qui mêlent souvent leurs eaux, mais qui sont elles-mêmes séparées, et au delà desquelles on ne doit point aller en physique, de même qu'en géométrie on ne remonte point au delà des axiomes, et qu'on ne les explique point les uns par les autres. » (2) Pourtant ce personnage newtonien ne tardait pas à s'effacer devant ses contradicteurs cartésiens. Tout au plus réussissait-il à les embarrasser un moment par l'objection suivante, qui n'était pas d'ailleurs sans s'être présentée d'elle-même aux disciples de Descartes, ou leur avoir été opposée avec quelque succès. L'avantage qu'elle donnait à ceux qui la formulaient venait précisément de ce que plus les explications cartésiennes se multipliaient, plus leur accumulation prêtait le flanc à cette critique d'incoordination : « Les cartésiens mitigés comme vous, poursuivait Théodore en s'adressant à Eugène, rendent aisément raison de chaque chose prise séparément ; et cela parce qu'ils se permettent tant de différentes suppositions, qu'à la fin les principes cartésiens deviennent assez féconds pour produire seuls l'effet qu'on veut

(1) Premier entretien, *Op. cit.*, 1 vol. in-4°, Paris, 1734, p. 21. D'ailleurs « il suffit de déclarer que leur force attirante ou mouvante n'est autre chose que la volonté même de l'Auteur de la Nature, pour prévenir l'erreur, où l'on pourrait tomber, de les confondre avec les qualités péripatéticiennes.» (*Op. cit.*, p. 21).

(2) *Op. cit.*, p. 22. Bouguer faisait encore ajouter là par Théodore quelques réflexions sur la difficulté de rendre pleinement raison des lois du mouvement, parce que c'est une chose qui n'a point à proprement parler de cause corporelle « et qui ne s'exécute que par l'efficacité que l'Etre suprême est maître d'attacher aux lois qu'il établit. »

expliquer. S'agit-il, par exemple, de tourbillons ; l'un de vous supposera la matière éthérée plus dense vers le centre, pendant qu'un autre qui voudra donner la cause de quelque autre phénomène, rendra cette matière plus dense vers la circonférence ; et un troisième sera encore bien reçu à supposer partout une densité uniforme. Je ne puis pas m'empêcher après cela de vous comparer tous à une troupe d'horlogers qui entreprendraient de faire une pendule, mais qui y travailleraient séparément, sans s'assujettir à la même mesure, ni aux différents rapports que doivent avoir toutes les parties. Vous agissez à peu près de la même manière : l'un explique la cause de la pesanteur, l'autre la cause de la dureté des corps ; et je vous vois en train de parler de l'inclinaison des planètes : mais tout cela, ce sont différentes parties de la pendule qu'on ne pourra jamais rassembler, parce qu'elles ne sont pas faites les unes pour les autres. De sorte qu'après avoir donné des explications sur tout, vous verrez avec étonnement qu'il n'y aura rien d'expliqué, et que vous serez enfin obligés de vous faire newtoniens. » (1)

Mais, sur le point spécial considéré, les cartésiens ne tardaient pas à reprendre l'avantage, en montrant que, bien loin d'être la cause de l'inclinaison de l'orbite des planètes, l'attraction devrait au contraire tendre à diminuer constamment cette inclinaison. « M. Newton nous assure que l'action des planètes les unes sur les autres, que cette force avec laquelle elles s'attirent mutuellement, ne fait naître dans la situation de leurs orbites que quelques inégalités qu'on peut négliger, *inaequalitates aliquae sed quae ob parvitatem hic contemni possunt* (Livre III, prop. XIV). Pour moi, je vous avoue que, comme ce grand mathématicien n'admet aucun fluide, ni aucun autre obstacle qui puisse s'opposer le moins du monde à l'effet des attractions, il me paraît qu'elles devraient avoir bientôt fait disparaître l'obliquité des orbites et obligé tout le système planétaire à se mouvoir exactement dans le même sens. » (2)

(1) *Op. cit.*, p. 23-24.
(2) *Op. cit.*, p. 25-26.

Cependant Bouguer faisait également écarter, dans le premier entretien, l'explication cartésienne attribuant cette inclinaison à ce que le fluide tourbillonnaire, se trouvant resserré entre les planètes lors de leurs conjonctions, les pousserait chacune de leur côté par l'effort qu'il ferait pour s'étendre. « Cette cause, comme on le démontre, ne peut que faire varier un peu les inclinaisons, les faire tantôt augmenter et tantôt diminuer, mais ne peut pas les avoir produites, ni les avoir portées au point où elles sont. » (1)

Mais, s'il n'acceptait pas l'explication même de Descartes, ce n'en était pas moins à la théorie cartésienne des tourbillons qu'il demandait la solution du problème. « On peut, résumait-il fort bien dans la Préface (2), en suivant l'hypothèse des tour-

(1) *Op. cit.*, préface, p. 3. La considération éventuelle des changements survenus dans les inclinaisons apparaissait d'ailleurs, de ce point de vue, comme un moyen de décider pour ou contre les tourbillons. En effet, il résulte de l'explication cartésienne « que, lorsque les planètes se rencontrent après avoir passé le point où leurs orbites se coupent, leur obliquité réciproque doit augmenter; au lieu qu'elle doit recevoir quelque diminution, lorsque les planètes se rencontrent avant que d'être parvenues à ce point. Mais il semble qu'il arriverait tout autrement, si les attractions étaient une loi de la Nature, et que tous les corps y fussent sujets. En effet lorsque deux planètes se rencontrent, après avoir passé leur nœud, et qu'elles vont en s'éloignant l'une de l'autre, leur attraction mutuelle rendrait leurs directions moins divergentes ; puisqu'elle tendrait à les rapprocher réciproquement. Et au contraire, lorsque les planètes ne seraient point encore arrivées à l'intersection de leurs orbites, la force avec laquelle elles s'attireraient mutuellement, rendrait leurs directions encore plus convergentes, et ferait par conséquent augmenter leur inclinaison. Vous voyez donc qu'aussitôt que les astronomes réussiraient à apercevoir le changement de direction que reçoivent les planètes, lorsqu'elles passent vis-à-vis les unes des autres proche de leur nœud, il sera facile de reconnaître par la nature de ce changement, s'il est causé par un fluide qui accélère sa vitesse, et qui pousse de part et d'autre en dehors lorsqu'il est resserré ; ou s'il est causé au contraire par les attractions newtoniennes, qui font que tous les corps pèsent les uns vers les autres, et tendent à s'approcher. » (*Op. cit.*, p. 50-51).

(2) P. 4. Cette préface (ajoutée seulement en 1733, lorsqu'après avoir déjà concouru pour le prix de 1732, Bouguer adressa de nouveau son Mémoire à l'Académie pour le prix de 1734) en même temps qu'elle apportait quelques précisions sur certains points, mettait directement en lumière les idées de l'auteur.

billons du fameux Descartes, embrasser deux différentes opinions sur l'obliquité du cours des planètes, et du mouvement des couches à peu près sphériques dont les tourbillons sont formés. Ou bien, dans le commencement des choses, toutes les parties de chaque tourbillon circulaient exactement dans le même sens, et elles ont ensuite un peu changé de chemin : ou bien toutes les parties de matière, mues par une première impression, suivaient d'abord une infinité de diverses routes; mais après s'être choquées une infinité de fois, elles ont pris des directions moins obliques les unes par rapport aux autres ; et, si elles ne s'accordent pas encore à se mouvoir sensiblement dans le même sens, c'est parce qu'elles n'ont pas eu tout le temps de s'y assujettir. Les choses, selon ces deux opinions, partent de deux points bien différents, pour venir à l'état d'obliquité où nous les voyons ; elles partent ou du plus exact parallélisme ou de la plus grande diversité de directions. Mais il me paraît que le premier sentiment n'est pas soutenable. Si toute la matière du tourbillon s'était mue d'abord dans le même sens, rien ensuite ne l'aurait pu faire changer de chemin, et on verrait encore toutes les planètes circuler aujourd'hui dans le plan de l'écliptique, et tourner toutes aussi sur leur propre centre exactement dans le même sens. Il est vrai que, lorsque les planètes se trouveraient héliocentriquement en conjonctions, il arriverait quelque changement dans leurs cours par la réaction du fluide qui se trouverait resserré entre deux : mais le changement ne serait que passager, et serait sujet à une alternative continuelle. »

Bien loin donc de supposer à l'origine la conformité des directions, Bouguer admettait au contraire, dans la cosmogonie qu'il estimait nécessaire d'établir comme point de départ à cette théorie, une sorte de confusion primitive, de désordre originel. Certes il ne prétendait pas ériger en vérités démontrées ces hypothèses cosmogoniques, bien persuadé qu'il était « qu'on ne doit rien avancer qu'avec beaucoup de réserve, lorsqu'on entreprend de pénétrer dans le secret de l'origine des choses.

Mais enfin, si les tourbillons n'ont point été formés de la manière dont nous le disons, il est toujours très certain que tout est actuellement disposé, comme si la matière avait d'abord été mue selon une infinité de divers sens. » (1)

D'ailleurs la supposition paraissait très vraisemblable. « Si, dans le débrouillement du chaos, toutes les parties de matière qui forment chaque couche sphérique ont dû s'accorder à se mouvoir précisément dans le même sens, les différentes couches n'ont pas pu s'assujettir de la même manière à suivre exactement la même direction. Les parties de la même couche sont exposées à se heurter sans cesse, tant qu'elles ne décrivent pas des cercles parfaitement parallèles ; de sorte que c'est par le choc qu'elles s'obligent à ne suivre qu'un seul chemin, qu'une direction moyenne ou composée, qui résulte de la composition des mouvements particuliers qu'elles avaient toutes. Mais comment voulez-vous ensuite que les couches se sollicitent à embrasser toutes la même direction ? Elles ne le peuvent faire que par leur frottement ou leur friction mutuelle ; mais ce frottement ne peut être que très faible dans une matière aussi fluide que l'éther. Je ne dis pas que, dans la première institution des tourbillons, lorsque les couches circulaient d'abord dans des sens très différents, le frottement ne fût capable d'effet plus considérable, et qu'il ne fît diminuer par des degrés très sensibles l'obliquité des directions. Mais à présent ce ne doit plus être la même chose : car la friction mutuelle de deux couches doit être moindre à mesure que leurs mouvements deviennent plus conformes. Outre cela, il s'est pu faire, dans les parties mêmes de l'éther, quelque changement qui contribue encore à la diminuer ; c'est ce qui est peut-être cause qu'il est si difficile de découvrir les vestiges de cette friction, maintenant que la machine de l'Univers est comme parvenue, depuis plusieurs siècles, à un certain état de permanence. Ainsi vous voyez que les planètes n'ont différentes inclinaisons que parce

(1) *Op. cit.*, préface p. 6.

que les couches du grand tourbillon ne circulent pas exactement dans le même sens; vous voyez encore que cette diversité de directions dans l'éther vient originairement du désordre ou du dérangement où était d'abord la matière, et de ce que l'action des couches les unes sur les autres n'a pas été assez forte pour mettre une parfaite conformité dans leurs mouvements. »(1)

Comment, dans un tel système, comprendre l'extrême obliquité du cours de certaines comètes ? L'objection pouvait d'autant moins être laissée de côté, que les remarques de Cassini à l'Académie, au cours de la séance de 1730, dans laquelle avait été choisie la question mise au concours, avaient attiré l'attention sur ce point. La solution proposée par Bouguer était d'autant plus curieuse qu'elle s'inspirait à la fois de Cassini et de Maupertuis ; disons tout de suite que les idées newtoniennes de celui-ci n'étaient utilisées que pour confirmer certaines vues cartésiennes, ce qui ne manquait pas de rendre le contraste encore plus piquant. En effet, après avoir rappelé comment les travaux de Cassini avaient montré que la grande obliquité de l'orbite de certaines comètes par rapport à l'écliptique n'était le plus souvent qu'apparente, comme le mouvement rétrograde de certaines autres, il s'appuyait sur les conclusions du *Discours sur la figure des astres*, pour donner quelque vraisemblance plus grande aux suppositions déjà faites par Villemot (§ 8) et Dortous de Mairan (§ 30). Transposant aux tourbillons ce que Maupertuis avait établi, d'après Newton, pour les astres, et admettant l'idée d'un aplatissement aux pôles, aplatissement pouvant aller même jusqu'à donner à certains tourbillons, comme à certains astres, la forme d'une espèce de meule, il en tirait, à titre de conclusion, que quelques comètes, au lieu d'appartenir à notre tourbillon solaire, n'avaient un cours si oblique par rapport à celui-ci que parce qu'elles appartenaient à quelques tourbillons voisins. En effet, « si les tourbillons ont la forme d'une espèce de meule, par la grande force

(1) *Op. cit.*, Deuxième entretien, p. 35-36.

centrifuge qu'ils ont dans leur équateur, une comète qui nous paraît à quelque distance de l'écliptique, peut fort bien n'être pas fort éloignée de nous, et circuler cependant dans un autre tourbillon. Elle peut être ou une planète principale, ou un satellite d'une planète principale, et être par conséquent sujette aux mêmes lois dans ce tourbillon que toutes nos planètes dans le nôtre. » (1)

Non content de répondre ainsi à l'objection tirée, contre le système tourbillonnaire, du mouvement des comètes, Bouguer essayait encore, dans un troisième entretien, d'étendre l'explication donnée pour l'inclinaison des orbites des planètes jusqu'à d'autres particularités du mouvement des planètes, notamment la précession des équinoxes, la stabilité des nœuds des satellites de Jupiter, les différentes inclinaisons de l'orbite de la lune. Nous ne pouvons que signaler ici ces ingénieuses extensions de ce principe, si cartésien dans son inspiration générale, de l'action des couches d'un tourbillon les unes sur les autres.

59. — Le travail de J. Bernoulli, couronné par l'Académie en 1734 (2), présente, à notre avis, un très grand intérêt, parce qu'il nous permet de mesurer la distance qui, au point de vue des idées, sépare cet ouvrage des *Nouvelles pensées sur le système de Descartes,* antérieures cependant de quatre années seulement. Qu'il y ait eu une influence exercée sur l'auteur par le *Discours sur la figure des astres*, le fait ne nous paraît guère douteux, non seulement parce que ce livre se plaçait précisément dans cette période de quatre années si importantes pour l'évolution de la pensée de J. Bernoulli, non seulement parce qu'il était apparu à cette époque comme un ouvrage particulièrement solide, mais aussi parce que J. Bernoulli professait

(1) *Op. cit.*, préface, p. 14.

(2) *Essai d'une nouvelle physique céleste, servant à expliquer les principaux phénomènes du ciel, et en particulier la cause physique de l'inclinaison des orbites des planètes par rapport au plan de l'équateur du soleil* 1 vol. in-4°, Paris, 1735.

pour Maupertuis une très grande estime (1), et surtout parce que les références au *Discours sur la figure des astres* sont assez fréquentes dans l'*Essai d'une nouvelle physique céleste*. Peut-être donc que c'est à cette influence qu'il convient de rattacher, pour une grande part, l'abandon du cartésianisme par J. Bernoulli. Quoi qu'il en soit, ce brusque revirement dans l'attitude de celui-ci vis-à-vis des thèses de Descartes mérite d'être noté comme un phénomène d'autant plus symptomatique, au point de vue de l'évolution générale des idées scientifiques, que l'Académie, en couronnant ce travail, semblait bien, quoiqu'elle s'en défendît (2), approuver, jusqu'à un certain point, le sens de cette transformation dans les idées de son lauréat de 1730.

Est-ce à dire que Bernoulli ait, dans ce nouveau mémoire, complètement abandonné les explications cartésiennes ? Tant
s'en défendît (2), approuver, jusqu'à un certain point, le sens
n'étaient pas ménagées à l'adresse de Newton, et qu'il se refusait absolument à admettre le vide. Mais, au lieu de célébrer comme auparavant la supériorité de Descartes, il faisait des explications « à la cartésienne », pour reprendre son expression, des éloges dont la discrétion parvenait mal à dissimuler l'embarras. Bien plus, il allait, dans certains cas, jusqu'à la critique directe, non pas simplement de quelques points secondaires ou de quelques conséquences éloignées, mais de certains principes essentiels.

Si bien qu'après avoir rappelé l'opposition des deux systèmes cartésien et newtonien et signalé « dans chacun des difficultés

(1) Sur les relations de J. Bernoulli avec Maupertuis, voir notre ouvrage sur *Maupertuis*, 2 vol. in-8, Blanchard, 1929.

(2) Dans un *Avertissement de l'Académie*, placé en tête des mémoires de Jean et Daniel Bernoulli (tome III des *Pièces qui ont remporté les prix de l'Académie des Sciences*), nous lisons : « Cependant l'Académie, avant que de prononcer son jugement, avait résolu de renouveler dans cette occasion un avertissement qu'elle a déjà fait autrefois : comme elle ne restreint à aucun système les explications qu'elle demande des phénomènes, le suffrage aussi qu'elle donne à ces explications n'est point une adoption des principes sur lesquels elles sont fondées, ni de toutes les conséquences qu'on en tire. »

presque insurmontables », il précisait ainsi sa propre position : « J'ai choisi de l'un et de l'autre ce qu'il y a de plus naturel et de plus simple ; j'ai abandonné dans chacun ceux des principes qui choquent ou la raison ou le bon sens, ne me servant que de ceux qui sont clairs et intelligibles ; j'en ai tiré des conséquences, qui en découlent naturellement sans les forcer. De cette manière, j'ai tâché de concilier ensemble les deux systèmes par leur beau côté, pour en former un nouveau. » (1)

Voyons d'abord ce que Bernoulli conservait du cartésianisme. Supposons donc (2) un tourbillon très fluide, n'offrant aucune résistance aux corps qui se meuvent, mais ne les transportant pas non plus. Cette hypothèse, bien différente de la conception cartésienne des tourbillons, permettait à Bernoulli d'éviter certaines objections.

Nous savons combien il paraissait difficile, dans le système cartésien, de concilier la vitesse de rotation des astres, et notamment du soleil, sur eux-mêmes avec la vitesse des couches du tourbillon voisines de leurs surfaces. Mais Bernoulli, n'étant plus obligé de donner aux couches correspondant aux différentes planètes des vitesses en rapport avec les temps périodiques de celles-ci (puisque ce ne sont pas ces couches qui entraînent les planètes), simplifiait le problème, qui se réduisait à calculer, d'après la loi de Képler, les temps périodiques des diverses couches de la matière tourbillonnaire, en partant, pour la couche la plus proche de la surface solaire, d'une vitesse de 25 1/2 jours. Il arrivait ainsi à la conclusion « que chaque planète a son mouvement moyen sur son orbite plus de 230 fois plus vite que n'est la vitesse avec laquelle circule la matière du tourbillon dans la région moyenne où se trouve la planète. » (3)

(1) *Op. cit.*, in *Œuvres*, III, p. 270.

(2) Pour adapter plus directement cet important ouvrage à notre propre plan, nous sommes obligés d'en donner l'analyse dans un ordre différent de celui adopté par l'auteur. C'est pourquoi nous devons présenter ici comme une supposition préliminaire ce qui n'est en réalité que la conséquence d'autres idées que nous ne tarderons pas à retrouver.

(3) *Op. cit.*, p. 306. « Quelle contrainte ne faut-il pas se donner pour

Par cette idée de l'indépendance des planètes par rapport aux couches de la matière tourbillonnaire, Bernoulli apportait, sans qu'il y insistât d'ailleurs, un moyen d'échapper à l'objection tirée de l'incompatibilité, dans l'hypothèse tourbillonnaire, des deux lois de Képler. Cette objection lui paraissait très forte et la récente explication de Bulffinger bien insuffisante, car « c'est ici où l'on pourrait demander si la simplicité des opérations de la nature permet de prodiguer si libéralement des matières et des mouvements, sans autre raison que le besoin qu'on en a. Il est vrai que c'est une libéralité qui ne coûte rien, mais aussi peu pardonnable que celles des anciens astronomes, qui, pour suppléer à l'insuffisance de leurs hypothèses, n'ont point fait scrupule de créer de nouveaux cieux cristallins, des épicycles, et d'autres ouvrages de cette nature, à mesure qu'on en avait besoin pour expliquer de nouvelles irrégularités qui se découvraient dans le mouvement des astres, sans se mettre en peine si tous ces embarras étaient convenables à la simplicité, à la beauté et à la symétrie de l'Univers. » (1)

Supposons d'autre part que ce tourbillon de matière très fluide animé d'un mouvement très lent ne soit pas cependant

s'imaginer, avec les cartésiens outrés, que la première couche du tourbillon solaire fasse sa circulation 230 fois plus rapidement que la surface du soleil à laquelle la première couche est contigüe ? Et quelle peine n'a-t-on pas aussi à concevoir, que le tourbillon particulier terrestre, dans sa plus basse région contigüe à la surface de la terre, circule 17 fois plus vite que ne fait la terre elle-même par son mouvement diurne ? C'est pourtant ce qu'il faut dire, si on veut soutenir que les planètes autour du soleil et la lune autour de la terre empruntent leur mouvement de celui des tourbillons, par lesquels on prétend que ces corps célestes sont entraînés. Ne serait-on pas fondé à demander pourquoi, à l'endroit où le tourbillon solaire touche le soleil, et où le terrestre touche la terre, les deux mouvements ne se confondent pas enfin, ou ne se conforment pas l'un à l'autre ? Quelle cause pourrait-on inventer, qui entretînt cette grande inégalité de vitesse de deux matières fluides, qui se frotteraient continuellement, sans qu'il en résultât le moindre retardement dans la plus vite, ni d'accélération dans la plus lente ? Le bon sens n'en est-il pas choqué ? Notre hypothèse remédie à tous ces inconvénients. » (*Op. cit.*, p. 332-333).

(1) *Op. cit.*, *p.* 269-270.

dénué de toute action sur les planètes, et puisse par conséquent, non pas leur imprimer leurs mouvements (ce qui serait contraire à l'hypothèse précédente), mais y apporter des changements (1). Cette nouvelle supposition permettait à Bernoulli à la fois de rendre raison de la concordance des directions des mouvements planétaires d'occident en orient, et de répondre à l'objection tirée, contre le système cartésien, de l'irrégularité des directions des comètes.

En effet, en supposant les directions des planètes purement fortuites et irrégulières à l'origine, « puisqu'il y a un tourbillon, quoique fort tardif et fort faible, il aura eu, quelque faible qu'il soit, assez de force pour changer peu à peu la direction de la planète, sans altérer sensiblement sa vitesse, jusqu'à ce que cette direction soit devenue à peu près conforme à la direction du tourbillon, qui va d'occident en orient. » (2)

D'autre part, « comme les orbites des comètes sont des ellipses extrêmement longues en comparaison de leur largeur, ayant le soleil dans leur foyer, quasi infiniment plus près du périhélie que de l'aphélie, selon le sentiment même de Newton ; il faut que le temps que la comète emploie à parcourir la partie supérieure de son orbite allongée, qui s'étend à une énorme distance au-dessus de Saturne, soit de beaucoup plus grand que le reste du temps périodique, qu'elle emploie à passer par la région des planètes, et qui ne peut qu'être fort court, tant à cause de la grande vitesse que la comète acquiert en approchant du périhélie, qu'à cause de la petitesse du chemin à parcourir dans la basse région, par rapport à l'extrême longueur de la partie supérieure, où il faut passer par l'aphélie avec un mouvement très tardif. Puis donc que dans ces grands éloignements

(1) Bernoulli, prévoyant qu'on pourrait lui objecter qu'ayant ôté à la matière du tourbillon toute force sensible de résister au mouvement des planètes, il ne pouvait lui en accorder assez pour en changer les directions, répondait par avance « qu'il faut incomparablement plus de force pour augmenter ou diminuer la vitesse d'un corps qui est déjà en mouvement, que pour en changer seulement la direction. » (*Op. cit.*, p. 310).
(2) *Op. cit.*, p. 310.

du soleil, les circulations du tourbillon doivent être si lentes, que sa matière peut bien être considérée comme immobile, elle ne fera par conséquent point d'effet sensible pour changer la direction de la comète, pendant tout le temps qu'elle séjourne dans ces endroits si élevés : mais le séjour qu'elle fait dans notre voisinage est trop court, pour se laisser détourner beaucoup de sa route par la circulation du tourbillon. Cela étant, il n'y a pas lieu de s'étonner, qu'on n'observe pas dans le cours des comètes cette régularité de direction, qui se voit dans celui des planètes ; c'est plutôt une conséquence naturelle de notre théorie, que chaque comète doit suivre sa route particulière, que le cas fortuit lui a assignée dans le premier commencement, sans aucune altération perceptible. » (1)

Enfin, cette adaptation de la physique tourbillonnaire permettait encore d'expliquer le mouvement des apsides. En effet, comme le grand tourbillon solaire « circule toujours d'occident en orient, et ne cesse jamais, son effet sera, non pas de changer la vitesse sensible de la planète, mais au moins d'en faire anticiper un peu la direction en chaque point de l'orbite ; d'où il s'ensuit visiblement que l'orbite elle-même paraîtra circuler d'un mouvement uniforme, mais très lent, autour de son foyer, et transporter par conséquent les apsides avec la même lenteur uniforme, et dans la même direction d'occident en orient. » (2)

Si nous comparons cette solution à celle donnée par le même auteur, sur la même question, dans son mémoire de 1730, nous pouvons remarquer combien l'esprit catésien, tout en s'y faisant encore sentir, a subi ici de transformations. Certes Bernoulli n'abandonnait pas encore l'idée du plein et la notion de tourbillon ; mais sa façon de concevoir la nature et l'action du fluide tourbillonnaire l'éloignait déjà d'une mécanique de l'impulsion telle que l'avait comprise Descartes et que la comprenaient encore certains de ses disciples. La supposition de ce fluide sans résistance, incapable d'emporter les planètes, mais

(1) *Op. cit.*, p. 311.
(2) *Op. cit.*, p. 328-329.

susceptible d'apporter à leurs directions quelques changements, était bien, sous un cartésianisme de façade, et tout en justifiant certaines idées cartésiennes, une première brèche dans l'édifice de la physique céleste de Descartes.

Il convient de remarquer maintenant que ce que nous venons de présenter comme des suppositions de la part de Bernoulli avait en réalité dans sa pensée une toute autre valeur. Pensant établir l'existence de ce fluide sans résistance, il la rattachait à une idée de la matière qui, sous des rapports apparents avec celle de Descartes, s'en séparait cependant sur un point essentiel.

Après avoir distingué deux sortes de matière : « L'une de ces sortes de matière, expliquait-il (1), est celle que je conçois comme parfaitement liquide, je veux dire, non seulement divisible à l'infini, ce qui est commun à tous les corps, mais divisée réellement à l'infini et sans bornes, ou plutôt c'est un fluide uniforme, qui n'est pas composé de corpuscules élémentaires, comme on conçoit les fluides ordinaires, qui selon la multitude et grosseur de ces corpuscules plus ou moins serrés, sont conçus être plus ou moins denses, et faire une plus ou moins grande résistance aux corps sensibles qui y nagent : au lieu que notre matière parfaitement liquide, en tant qu'elle est destituée de corpuscules élémentaires, est sans résistance. » En effet cette matière première, ou matière du premier élément, « dont la nature est d'avoir une division, ou plutôt une dissolution de parties qui va à l'infini absolu », « ne fait aucune résistance aux corps qui s'y meuvent ; car la résistance des fluides ne vient que de l'inertie des molécules dont les fluides sont composés, et dont un corps qui y nage doit à tout moment remuer, et déplacer une certaine quantité. » (2)

(1) *Op. cit.*, p. 273.

(2) *Op. cit.*, p. 276. L'idée de cette matière parfaitement liquide impliquait, par la négation de toutes parties élémentaires, une certaine notion du corps. « La dureté des corps, quelque petits qu'ils soient, est une qualité accidentelle, qui n'est point comprise dans l'idée que nous devons avoir du corps. La cohésion des parties, soit parfaite ou imparfaite, est un phé-

Quant à la matière du second élément, elle est constituée par des corpuscules élémentaires, obtenus « en prenant pour chacun une petite quantité de matière du premier élément, ramassée ensemble, et qui, par le seul mouvement conspirant dans tous ses points, fait une massule dont les parties sont par cela même cohérentes, sans dire qu'elles soient invinciblement dures. » (1)

La masse de matière parfaitement liquide, imprégnée de particules du second élément, mais à une densité négligeable quelles que soient les couches, telle est la matière constitutive du tourbillon.

60. — Nous pouvons nous demander maintenant quels éléments la *Nouvelle physique céleste* empruntait à Newton. Tout d'abord on serait tenté de croire que les critique l'emportaient tellement sur tout le reste qu'il serait difficile de déceler quelque influence profonde du newtonianisme.

Non seulement les principes de Newton ne permettaient pas, d'après Bernoulli, d'expliquer la rotation des planètes autour de leur axe, mais la direction commune de leur révolution autour du soleil restait également inexplicable. En effet, « il semble que le vide parfait, tel que Newton le suppose, devrait permettre aux planètes, aussi bien qu'aux comètes, de se choisir chacune une route particulière et indépendante de la régularité de direction. » (2) Aussi Bernoulli se ralliait-il volontiers aux idées de Dortous de Mairan, qui avait montré dans son mémoire de 1729 à l'Académie (§ 38), que l'uniformité du mouvement des planètes ne pouvait être requise dans un vide permettant aux corps célestes de se mouvoir en tous sens.

Une autre difficulté, dans le système newtonien, consistait.

nomène qui a sa cause comme tous les autres phénomènes de la nature. Qui dit corps, ne dit autre chose que ce qui est étendu, mobile et impénétrable ; voilà tout ce que l'idée du corps doit renfermer ; il n'est pas même nécessaire de faire entrer la divisibilité dans la définition du corps, comme étant déjà comprise dans la seule notion de l'étendue. » (*Op. cit.*, p. 275).

(1) *Op. cit.*, p. 276.

(2) *Op. cit.*, p. 267.

de l'avis de Bernoulli, en ce que « l'hypothèse des attractions étant jointe à celle du grand vide, on est en droit de demander pourquoi l'orbite de chaquè planète change insensiblement de place, en tournant d'un mouvement très lent et uniforme autour de son foyer qui est dans le centre du soleil, et pourquoi ce mouvement se fait aussi d'occident en orient, ce qui cause qu'après une longue suite d'années on remarque que les apsides s'avancent un peu vers l'Orient. L'existence du vide supposée, et les forces centrales en raison inverse doublée des distances, exigent nécessairement que les orbites soient des courbes rentrantes en elles-mêmes, qu'elles soient des ellipses parfaites, dont l'axe ou la ligne des apsides soit absolument immobile. Il est vrai que, pour rendre raison de leur mobilité, M. Newton a recours aux influences que les planètes ont les unes sur les autres par leurs attractions mutuelles, par lesquelles il croit devoir arriver que la régularité de leur mouvement se trouble, et que par là les aphélies deviennent mobiles; mais on a démontré ailleurs l'insuffisance et la faiblesse de cette raison, puisqu'on a fait voir que, par exemple, Jupiter, qui par sa grosseur doit exercer le plus de force d'attraction sur une autre planète, devrait tantôt avancer, tantôt faire reculer l'aphélie de celle-ci, selon que l'un ou l'autre précède, bien loin de produire un mouvement toujours en avant, égal et uniforme. » (1)

Ce n'était pas seulement à des explications particulières fournies par Newton sur certains points du système du monde que s'attaquait Bernoulli, c'était à la formule même de loi newtonienne d'attraction. « Car si les corps avaient de leur nature cette qualité essentielle de s'attirer l'un l'autre, il est certain que les particules élémentaires seraient pesantes en raison de leur solidité, et non pas de leur surface ; et qu'ainsi une même particule élémentaire, à un éloignement double du corps dont elle est attirée, en recevrait une force qui ne serait pas sous-quadruple, mais sous-octuple de celle qu'elle reçoit à

(1) *Op. cit.*, p. 327.

une distance simple, puisque la densité, ou la multitude des rayons qui partent du corps attirant, et qui saisissent la particule, devrait être estimée par la quantité de sa masse et non point de sa surface ; d'où il s'ensuit que la force de cette attraction diminuerait en raison triplée comme les cubes, et point du tout comme les carrés des distances : de là on peut démontrer aisément que les masses entières des planètes n'auraient point d'autre gravitation sur le soleil, que celle de ses particules élémentaires, dont la diminution se ferait en raison des cubes des distances.

« Que deviendra donc le système de M. Newton par rapport à la physique, si son fondement principal tombe en ruine ? Je m'étonne, insistait Bernoulli, que pas un de ses partisans outrés ne se soit aperçu de l'inconvénient qui résulte de l'hypothèse des attractions, que l'on veut attribuer, comme une qualité essentielle, non seulement aux corps grossiers, mais aussi à leurs particules élémentaires destituées de pores ; ce qui ne peut subsister, ainsi que nous l'avons démontré, avec la loi suivant laquelle la gravitation des planètes doit varier par rapport aux éloignements du soleil, pour qu'elles décrivent des orbites elliptiques autour de cet astre placé dans un de leurs foyers. » (1)

Si la difficulté était moins grande dans la pensée même de Newton que dans celle des newtoniens, ceci tenait surtout à ce que Newton avait été beaucoup plus réservé que la plupart de ses disciples dans la considération de l'attraction comme propriété essentielle de la matière. Bernoulli se plaisait d'ailleurs à le reconnaître. « Il serait à souhaiter, remarquait-il (2), que les partisans de M. Newton eussent suivi l'exemple de leur maître,

(1) *Op. cit.*, p. 299.

(2) *Op. cit.*, p. 265. Il s'élevait ailleurs contre cette « vertu attractrice que donnent si libéralement aux corps M[rs] les Newtoniens, se mettant peu en peine qu'on l'entende ou non. En fait de physique, on a raison de rejeter la coutume de ceux, qui, pour expliquer quelque phénomène, ont recours à des principes chimériques, plus obscurs que ce qui est en question. » (*Op. cit.*, p. 288).

et qu'au lieu de prétendre que le vide et l'attraction sont des réalités dans la nature des choses et que ce sont des principes d'existence, ils les eussent seulement envisagés comme des manières de concevoir. »

« C'est donc au physicien, qui veut chercher les causes des faits, ajoutait-il encore (1), à établir des principes d'existence, et ces principes doivent être clairs et intelligibles, si bien que leur possibilité se manifeste d'elle-même. » Et, comme il estimait que le principe d'attraction était bien loin d'avoir autant d'évidence que celui d'impulsion, il tentait, en somme, une entreprise, au sujet de laquelle Newton lui-même avait laissé quelque espoir, en admettant que l'attraction pourrait peut-être s'expliquer par quelque impulsion.

Tout l'essentiel de son système consistait à supposer que les effets produits comme s'il existait une attraction provenaient en réalité de « l'impulsion immédiate d'une matière, qui, sous la forme d'un torrent, nommé central, se jette continuellement de toute la circonférence du tourbillon sur son centre, et imprime par conséquent à tous les corps, qu'il rencontre sur son chemin, la même tendance vers le centre du tourbillon. » (2) L'action de ce torrent central rendait raison en effet de cette gravitation des planètes, nécessaire pour qu'elles décrivent des ellipses; et d'une façon générale, tout ce que Newton tirait de l'attraction se tirait aussi bien, sinon mieux, de l'impulsion du torrent central.

D'où vient ce torrent central ? Question nouvelle à laquelle Bernoulli sentait bien la nécessité de donner une réponse précise. Mais, reprenant son idée des corpuscules grossiers et irréguliers mêlés par-ci par-là dans le premier élément dont est constitué le soleil, il pensait que la vive agitation de ces corpuscules dans la masse du soleil, phénomène comparable à une très forte ébullition, devrait, par les chocs répétés et impétueux imposés à ces corpuscules, en former en quelque sorte de gros

(1) *Op. cit.*, p. 266.
(2) *Op. cit.*, p. 271.

pelotons (taches du soleil), ou au contraire, pour ceux de consistance plus friable, les rompre en petites massules, principe de la lumière et de la chaleur. Ces massules devaient, par effervescence, être chassées hors du soleil avec une vitesse incomparable en effluves constituant les rayons du soleil (1).

Après avoir facilement traversé les espaces tourbillonnaires, ainsi que les planètes et leurs atmosphères, ces massules arrivent jusqu'à l'extrémité du tourbillon solaire. « Il est très probable, et moralement certain, que parmi tant de millions de milliards de ces massules, qui se présentent à chaque instant sur toute la superficie du tourbillon, et dont le plus grand nombre passe plus outre, il y en a pourtant aussi une multitude très considérable, qui sont rencontrées par tout autant de massules semblables, lesquelles, chassées du fond des tourbillons qui environnent le nôtre, viennent fondre sur les premières avec la même force. D'où il s'ensuit que, ces massules n'ayant naturellement point de ressort, il faut que toutes les fois que deux de ces massules de différents tourbillons viennent à se choquer directement, elles perdent toutes deux leur mouvement, et s'arrêtent tout court collées ensemble, et forment ainsi une nouvelle massule en repos deux fois plus grosse que chacune n'était auparavant. Il peut même arriver, sans beaucoup de hasard, que plusieurs de ces nouvelles massules en repos viennent à être choquées à la fois par deux autres primitives, l'une d'un côté et l'autre du côté opposé ; auquel cas il est derechef manifeste, par les règles de la communication du mouvement des corps sans ressort, que, ce second choc détruisant le mouvement opposé de ces deux nouvelles massules, et les collant aux deux premières, il s'en formera un petit peloton en repos, et quatre fois plus gros qu'une des massules primitives. » (2)

(1) Bernoulli profitait de ces remarques pour ébaucher toute une théorie de la lumière, sur laquelle nous ne pouvons pas nous arrêter ici. Notons seulement qu'il se trouvait, sur ce point encore, beaucoup plus près de Newton que de Descartes.

(2) *Op. cit.*, p. 291-292.

Tandis que, dans de telles conditions, il suffit du choc d'une massule issue du tourbillon solaire contre de tels pelotons pour les précipiter dans les tourbillons voisins, si le choc n'est pas compensé par celui d'une massule venant en sens inverse, tout au contraire les pelotons pénètrent de nouveau dans le tourbillon solaire, lorsqu'ils sont choqués seulement par des massules issues de tourbillons voisins. « De cette manière nous concevons qu'il doit descendre continuellement du ciel une pluie abondante et impétueuse de pelotons repoussés en bas par le choc des massules qui sortent des tourbillons circonvoisins. » (1) Ce n'est autre chose que le torrent central, dont la matière est assez copieuse pour se jeter avec précipitation comme un torrent perpétuel sur le soleil (2).

L'existence du torrent central une fois établie, il ne restait plus à Bernoulli qu'à en déterminer le mode d'action sur les planètes. Or, « les pores et les interstices entre les parties élémentaires terrestres qui composent les planètes sont suffisamment larges pour laisser passer sans obstacle les files des massules qui partent du soleil ; mais après qu'à leur retour une bonne quantité de ces mêmes massules se sont accumulées en petits pelotons, qui fournissent la matière au torrent central, et desquels le plus petit est pour le moins trois fois plus gros qu'une massule ; il est déjà assez évident que les pelotons n'enfileront plus si aisément les mêmes pores des corps terrestres : d'où il arrive que le torrent central fait un effort continuel sur la planète qu'il rencontre, pour la pousser en bas vers le centre commun du tourbillon, de la même manière qu'un courant d'eau, donnant contre un obstacle, fait pour l'entraîner un effort continuel, égal à la force avec laquelle cet obstacle résiste. » (3)

(1) *Op. cit.*, p. 292.

(2) Ce retour au soleil fait d'ailleurs que la constante émission de massules n'épuise pas la matière de cet astre.

(3) *Op. cit.*, p. 297. « Il n'y a point d'autre différence entre ces deux actions, sinon que l'eau frappe seulement les surfaces extérieures des corps qui lui résistent, au lieu que notre torrent ayant des pelotons de toutes

Pour rendre complètement raison des apparences célestes, il fallait encore un principe du mouvement de circulation, une vitesse à l'origine de laquelle il était impossible de mettre encore le torrent central. Bernoulli ne pouvait songer non plus à l'attribuer au courant du tourbillon, puisqu'il ne voulait reconnaître dans ce tourbillon aucune capacité pour entraîner les planètes. « C'est pourquoi, précisait-il (1), je ne fais point de difficulté de statuer ici, avec M. Newton, que cette vitesse est primitive, qui leur a été imprimée dès le commencement de leur formation. Cette vitesse dure encore aujourd'hui et durera sans doute jusqu'à la fin du monde, sans que la résistance de la matière du tourbillon puisse lui causer le moindre retardement sensible : car la plus grande partie de cette matière, étant parfaitement liquide, ne résiste pas, et les globules célestes, qui y nagent fort au large, sont encore d'une petitesse et d'une rareté plus que suffisante pour que leur choc contre les corps d'une grosseur énorme, comme sont ceux des planètes, ne puisse rien gagner sur eux, ni retarder leur mouvement d'une manière sensible, durant le cours de plusieurs centaines de siècles.

« On peut donc considérer sûrement les planètes, comme si elles se mouvaient dans un vide parfait, tel que M. Newton l'a supposé, quoique véritablement tout soit rempli de matière. »

Ainsi non seulement Bernoulli admettait, à la suite de Newton, un mouvement primitif de circulation pour les planètes ; non seulement il trouvait dans son torrent central une cause de l'attraction apparente calculée par Newton, et par conséquent était conduit à admettre que tout se passait comme si l'attraction existait (et c'était là l'essentiel de la pensée de Newton sur ce point) ; mais encore son idée de la fluidité parfaite du tour-

sortes de grosseur, les plus petits pénétreront jusqu'aux moindres pores, avant que de perdre leurs forces, et les imprimeront par conséquent aux moindres parties des corps terrestres, pendant que les plus gros pelotons consument leurs forces en frappant la première superficie de la planète. » (*Op. cit.*, p. 297).

(1) *Op. cit.*, p 307.

billon le ramenait à rejoindre (tout en maintenant l'hypothèse du plein, à laquelle il reconnaissait encore, comme nous l'avons vu, quelques avantages) la conception newtonienne d'un univers fonctionnant comme s'il n'y avait qu'un espace vide.

C'était bien, comme il se l'était proposé, concilier les deux systèmes de Descartes et de Newton, mais c'était le faire, remarquons-le bien, en donnant au newtonianisme une place, qui n'avait pas seulement la valeur de quelques concessions.

61. — Faire de cette sorte d'équivalent de l'attraction, que constituait le torrent central, le facteur essentiel de la pesanteur, c'était encore demander à l'inspiration newtonienne l'explication d'un phénomène important, et c'était en même temps renforcer l'analogie déjà signalée par Newton entre ce phénomène et celui de la gravitation des planètes. Aussi n'est-il pas sans intérêt d'insister sur ce point.

Etendant aux tourbillons particuliers ce qu'il venait d'établir pour le tourbillon solaire, Bernoulli pensait que chaque planète, et spécialement la terre, devait reproduire, en quelque sorte, en petit ce qui se passait pour le soleil. « Ainsi tous les corps, et même la lune, qui sont de la dépendance du tourbillon terrestre, seront poussés, par un torrent central qui s'y forme, vers le centre de la terre, avec des forces réciproquement proportionnelles aux carrés des distances. C'est donc aussi dans l'action de ces forces que consiste la pesanteur des corps graves terrestres. » (1)

Et Bernoulli saisissait l'occasion des analogies que l'on pouvait être tenté d'établir entre son système et celui de Villemot (§ 5) pour faire la critique des idées de cet auteur. Certes Villemot avait supposé aussi un bouillonnement central; mais la pression qu'il avait pensé pouvoir en faire découler ne paraissait en rien satisfaisante à Bernoulli. En effet, « M. Villemot, expliquait-il, considère cette matière voisine, répandue jusqu'à

(1) *Op. cit.*, p. 300.

l'extrémité du tourbillon, comme un fluide renfermé de toutes parts, lequel venant à être pressé par un bout, cette pression se communique d'abord à l'extrémité opposée, et de là, ne pouvant aller plus loin, elle rejaillit sur le corps grossier qui s'y trouve, et l'oblige, à ce qu'il croit, de s'approcher vers le principe de la pression : mais ne devait-il pas voir que, par la loi d'hydrostatique, la pression se communiquant également sur toutes les parties du fluide, le corps, qui en est environné, doit soutenir une compression uniforme tout à l'entour, et sera par conséquent pressé par devant, tout autant qu'il l'est par derrière, ce qui lui fera garder un parfait équilibre. » (1)

Si le torrent central donnait une explication de la gravitation des planètes et de la pesanteur des corps graves terrestres, il avait encore l'avantage de rendre raison, d'une manière satisfaisante, du mouvement diurne des planètes. Et ce résultat apparaissait à Bernoulli d'autant plus intéressant qu'il faisait peu de cas de la théorie de Villemot sur ce point. Certes il estimait bien meilleure la dissertation de Dortous de Mairan (§ 38). « Mais quelque déférence, disait-il cependant (2), que j'aie pour les sentiments de l'illustre auteur de cette explication, je dois dire que j'ai de fortes raisons, que le temps ne me permet pas d'exposer tout au long, de douter que la rotation des planètes puisse être l'effet de l'inégalité perpétuelle de pesanteur des deux hémisphères; car, sans rien dire des autres difficultés qui se présentent contre cette conjecture si subtilement imaginée, il me semble que l'inégalité de pesanteur des hémisphères est trop insensible pour produire un effet si considérable, tel que serait la grande vitesse de rotation imprimée à la prodigieuse masse de Jupiter, pour lui faire faire une révolution entière sur son axe en moins de dix heures. Si on veut prendre la peine de faire le calcul, on trouvera que cette vitesse du mouvement diurne d'un point pris sur l'équateur de Jupiter,

(1) *Op. cit.*, p. 301.
(2) *Op. cit.*, p. 315.

est presque égale à la vitesse du mouvement annuel de cette planète autour du soleil; par conséquent aussi presque égale à la vitesse même du fluide du tourbillon, qui l'emporte, suivant le sens du système de M. Descartes; il faudrait donc que l'impulsion faite par le fluide sur l'hémisphère inférieur, sans doute contraire à la rotation, ne l'eût ou point retardé, ou fort peu, de sorte que toute la force du fluide eût été uniquement employée à la rotation, sans rien contribuer, ni à pousser l'hémisphère inférieur, ni à transporter tout le corps planétaire sur son orbite; cependant il s'y meut librement d'un mouvement progressif, et tourne en même temps sur son axe; comment accorder tout cela ? »

Bernoulli, sans vouloir le tenter, proposait un point de vue tout différent, en faisant intervenir l'effet du torrent central. « Je considère d'abord la planète, expliquait-il (1), comme n'ayant point encore de mouvement progressif sur son orbe ; dans cet état, je vois que le torrent la pousse de toute sa force en ligne droite vers le soleil, avec une accélération, que doit produire la pression du torrent, qui est réciproquement proportionnelle aux carrés des distances au soleil ; je vois aussi que durant la descente, la planète ne tournera nullement sur son centre, non plus qu'une pierre sphérique qui tombe verticalement sans pirouetter; parce que la pression du torrent, se répandant également sur toutes les parties de la planète, les retiendra en équilibre et donnera le parallélisme à leur mouvement.

« Mais s'il survient à la planète une vitesse latérale, primitivement imprimée, qui lui fait décrire son orbe elliptique, de la manière que nous l'avons expliqué ci-dessus, alors l'équilibre et le parallélisme du mouvement des parties ne peut plus se soutenir : la raison en est manifeste ; car il est très clair que les parties antérieures de la planète, qui se trouvent du côté où elle tend, vont en quelque façon au devant et à la rencontre

(1) *Op. cit.*, p. 317.

des filets du torrent que la planète est prête à traverser, au lieu que les parties de l'autre côté fuient en quelque manière ceux des filets qu'elles vont quitter, ce qui fait que la planète est frappée sur le devant avec plus de force que sur le dos. Il faut donc que le côté antérieur cède au torrent, c'est-à-dire qu'il descende, et que le côté postérieur monte contre l'action du torrent; et cela continuant toujours, la planète, à mesure qu'elle avance sur son orbe, est obligée de pirouetter avec une vitesse proportionnée à cet excès de force. On voit donc d'abord, sans l'expliquer davantage, que ces deux mouvements, le diurne et l'annuel, doivent se faire en même sens, savoir d'occident en orient. » (1)

Après avoir établi des formules pour calculer ce mouvement diurne des planètes (2), Bernoulli se préoccupait de trouver une raison à l'inclinaison de l'axe de rotation. « Si les parties hétérogènes d'une planète, expliquait-il (3), sont trop inégalement distribuées autour du centre du globe, en sorte que le centre de gravité (que je nommerais plutôt le centre d'inertie) de

(1) *Op. cit.*, p. 317. « Ceci bien entendu, on ne doit pas s'imaginer que ce soit seulement la surface extrême de la planète dont la partie supérieure souffre une plus forte impulsion par devant que par derrière : mais la même chose arrive à toutes les couches parallèles autour du centre, dont on conçoit composé le corps planétaire, parce que les pelotons du torrent étant de toutes sortes de grandeur, il y en aura toujours qui, après avoir pénétré les pores des couches les plus éloignées du centre, tomberont sur une qui a assez de densité, par conséquent ses pores assez étroits, pour ne leur pas donner le passage libre ; en sorte que cette autre couche doit, aussi bien que la première, soutenir l'impulsion du torrent, et par la raison alléguée, une impulsion plus forte sur la partie qui va devant, que sur celle qui suit. » (*Op. cit.*, p. 318). Bernoulli estimait encore possible d'étendre cette explication jusqu'aux couches du tourbillon extérieures à la planète, qui, entraînées ainsi dans le même sens par la même impulsion, contribueraient à entretenir et à faciliter la rotation.

(2) Dans la formule abrégée, « il n'y aurait plus que ces trois raisons à multiplier ensemble, savoir la raison simple inverse des distances ; la raison directe doublée des diamètres, et la raison directe doublée des sinus du complément des inclinaisons des axes : le produit donnerait la raison des vitesses rotatives des équateurs. » (*Op. cit.*, p. 322).

(3) *Op. cit.*, p. 324.

toute la masse, diffère beaucoup du centre de figure, je dis que c'est justement cette inégale distribution qui est la cause de l'obliquité de l'axe de rotation, ou qui fait pencher cet axe sur le plan de son orbite. » Nous voyons reparaître ici, pour un usage nouveau, une idée déjà exprimée par Fontenelle (§ 38), en vue d'expliquer la rotation même ; mais, autant l'application qu'en voulait faire Fontenelle soulevait de difficultés, autant cet emploi d'une différence entre le centre de gravité et le centre de figure pouvait paraître ingénieux.

Il n'y avait pas jusqu'au problème de la précession des équinoxes qui ne trouvât, dans cette *Nouvelle physique céleste*, une solution satisfaisante. Cette variation, d'ailleurs très petite, du parallélisme de l'axe de rotation des planètes se comprend aisément « car la planète, par exemple notre terre, circulant autour des pôles de l'écliptique avec sa propre vitesse, pendant que le fluide du grand tourbillon circule de même côté, mais autour des pôles de l'équateur solaire, et avec une vitesse 230 fois plus petite ; c'est comme si un globe, flottant dans une eau calme, était obligé par une force extérieure de se mouvoir d'Occident en Orient, autour d'un centre pris à quelque distance hors du globe. Or il est aisé de concevoir que la résistance de l'eau, exercée sur la surface antérieure du globe, se fera en sens contraire d'orient en occident, et que cette résistance agit plus fortement contre l'hémisphère le plus éloigné du centre de circulation, que contre le plus proche, parce que celui-là, faisant un plus grand chemin en circulant que celui-ci, frappe l'eau avec plus de vitesse ; le globe sera donc déterminé à pirouetter sur lui-même à contre-sens de son mouvement progressif, c'est-à-dire d'orient en occident, autour d'un axe perpendiculaire sur le plan de la circulation. » (1) Dans ces conditions, en même temps que la terre tourne ainsi sur elle-même contre l'ordre des signes autour d'un axe perpendiculaire au plan de son orbite, l'axe oblique du mouvement diurne tourne lui-

(1) *Op. cit.*, p. 355.

même sur cet axe perpendiculaire ; et par conséquent les pôles de l'équateur terrestre paraissent décrire de petits cercles autour des pôles de l'écliptique dans la direction d'Orient en Occident.

62. — Nous savons que le tourbillon solaire, tel que le concevait Bernoulli, ne pouvait, étant un fluide parfait, opposer aucune résistance par lui-même aux planètes ; mais les globules célestes, bien qu'y entrant pour une très petite partie seulement, n'en restaient pas moins capables, non pas de résister au point de faire perdre de leur vitesse aux planètes, mais de changer, dans de faibles proportions au moins, leur direction. « Or c'est ce changement de direction, provenant de l'opposition des globules célestes, qui peut devenir sensible, et même assez considérable par la longueur du temps, pour faire que les plans des orbites, après avoir été réduits dans une situation permanente, ne se trouvent pas précisément dans le plan commun de l'équateur du tourbillon, mais qu'ils s'en écartent, en sorte que les orbites couperont cet équateur sous des angles plus ou moins grands, selon la diverse constitution des planètes. » (1)

Faisant état des travaux récents sur la figure de la terre, Bernoulli pensait que, si, au lieu d'être une sphère, la terre est un sphéroïde aplati ou allongé, dans un cas comme dans l'autre, l'effet de cette figure doit être de détourner la planète de la route qu'elle suivrait, si elle était une sphère. De même pour les autres planètes. Bernoulli comparait cette inclinaison des orbites des planètes au phénomène que les marins appellent la dérive du vaisseau.

« Mais, puisque le fluide du tourbillon a lui-même un mouvement, quoique 230 fois plus lent que celui de la planète, qui se fait de même côté d'occident en orient, et dont j'ai démontré que l'effet est de la diriger insensiblement à prendre une conformité de direction commune dans le plan de l'équateur solaire, il est sensible que plus la planète s'écarte de cette direc-

(1) *Op. cit.* p. 331.

tion, à cause de l'inégalité de pression qu'elle rencontre par devant, plus aussi sera-t-elle obligée par cette autre cause, de regagner le dessus, et de se rapprocher de l'équateur du tourbillon. » (1)

De la combinaison de ces deux causes agissant en sens contraire, Bernoulli pensait qu'il était possible de tirer les modalités de l'inclinaison. Il ne manquait pas cependant de remarquer, à propos de la quantité de la dérive, que cette quantité ne dépend pas seulement de la figure du sphéroïde, mais aussi de la plus ou moins grande obliquité de l'axe du mouvement diurne sur le plan de l'orbite ; car il n'y aurait point de dérive si cet axe était perpendiculaire sur ce plan, quand même le sphéroïde différerait beaucoup de la sphéricité.

D'autre part, « réfléchissant sur la faiblesse des deux causes qui concourent à déterminer les inclinaisons des orbites et qui influent seulement sur les directions et non point sur les vitesses; il est très probable que l'inclinaison de chaque orbite n'a pas été produite dès la première révolution, mais qu'il a fallu un grand nombre de révolutions, avant que l'inclinaison soit parvenue à sa quantité fixe et permanente, telle qu'on l'observe aujourd'hui. » (2)

« Rien ne nous empêche donc de concevoir, concluait Bernoulli sur ce point (3), que l'inclinaison des orbites ait été produite, en naissant insensiblement, et en prenant à chaque révolution un nouveau petit degré de dérive, jusqu'à parvenir, après un grand nombre de révolutions, à l'inclinaison totale que l'on observe aujourd'hui dans les orbites et qui est permanente, sans pouvoir prendre de nouvelles augmentations, étant empêchée par le mouvement du tourbillon d'Occident en Orient, qui s'efforce sans cesse de rendre aux planètes la direction commune dans le plan de son équateur. »

Il nous reste à considérer quelle différence pouvait s'ensui-

(1) *Op. cit.*, p. 342.
(2) *Op. cit.*, p. 344.
(3) *Op. cit.*, p. 353.

vre, dans ce système, de la différence dans la forme du sphéroïde. « Les nœuds de ces deux sphéroïdes sur l'équateur du soleil seront de noms contraires, c'est-à-dire que là où se fera le nœud ascendant, ou boréal, dans le cas du sphéroïde aplati, il deviendra nœud descendant, ou austral, si on suppose que c'est un sphéroïde allongé ; et réciproquement le nœud descendant du sphéroïde aplati se change en ascendant pour le sphéroïde allongé. » (1)

Ainsi s'achevait, par l'explication de la cause de l'inclinaison des orbites des planètes, cette *Nouvelle physique céleste*. Si nous avons pu, à plusieurs reprises au cours de cette analyse, découvrir, dans cet important ouvrage, des éléments, sinon tout à fait newtoniens, au moins largement inspirés du newtonianisme, nous ne pouvons pas cependant méconnaître que ce pas vers les théories de Newton était encore bien timide, et que, derrière les hésitations, les concessions et les formules nouvelles, Bernoulli s'accommodait encore d'un bon nombre d'idées cartésiennes. Ce qui le retenait surtout et l'empêchait de donner aux thèses newtoniennes une adhésion plus directe et plus nette, c'était, comme nous pouvons nous en rendre compte, la répugnance à abandonner la notion fondamentale de l'impulsion considérée comme cause unique du mouvement. Il lui semblait encore qu'il ne pouvait y avoir de mécanique scientifique en dehors de celle du choc et de la pression.

63. — Le mémoire de Daniel Bernoulli, qui partagea le

(1) *Op. cit.*, p. 336. Bernoulli pensait même qu'il y avait là un excellent moyen de reconnaître si le sphéroïde terrestre était allongé ou aplati ; et il éprouvait une évidente satisfaction à constater que les calculs, faits d'après sa théorie, obligeaient en effet à reconnaître, conformément aux résultats des mesures de Cassini, que la figure de la terre était celle d'un sphéroïde allongé. « Après cette heureuse conformité de notre théorie avec les observations célestes, peut-on plus longtemps refuser à la terre la figure de sphéroïde oblong, fondée d'ailleurs sur la dimension des degrés de la méridienne, entreprise et exécutée par le même M. Cassini avec une exactitude inconcevable ? » (*Op. cit.*, p. 354-355).

prix (1), nous laisse une impression bien différente. L'auteur était loin d'avoir les mêmes scrupules ; et ce qu'il accordait, apparemment au moins, aux partisans de la physique tourbillonnaire, n'avait pas pour lui d'autre valeur que celle de concessions, exigées par un préjugé devenu, pour ainsi dire, traditionnel.

Après avoir affirmé l'existence d'une atmosphère propre à chacun des corps célestes, et avoir étudié spécialement l'atmosphère solaire (2), il insistait sur la nécessité de ne pas confondre ce fluide avec les tourbillons déférants, supposés par les cartésiens. Il signalait notamment deux difficultés que soulèverait une telle assimilation : d'abord la différence de densité entre les couches de cette atmosphère solaire et les corps célestes correspondant à ces couches ; ensuite l'impossibilité de faire coïncider les vitesses de cette atmosphère avec celles qu'exigerait la règle de Képler. Cette dernière difficulté n'était en

(1) *Disquisitiones physico-astronomicae.* Daniel Bernoulli traduisit lui-même ce mémoire latin, en y faisant quelques additions ; et le texte français fut imprimé, en même temps que l'original, par les soins de l'Académie dans le 3e volume des *Pièces qui ont remporté les prix.* Nous citerons d'après la traduction de l'auteur.

(2) « De ces propriétés que nous connaissons de l'atmosphère de la terre, nous conclurons que le soleil est de même environné d'un fluide pareil à notre air, pesant vers le centre du soleil, doué d'une force élastique, qui sans doute se renforcera, la chaleur du soleil étant augmentée ; ce fluide aura donc aussi ses différentes densités dans ses différentes distances de la surface du soleil... L'atmosphère solaire s'étendra tant que son élasticité devienne égale à celle d'une autre atmosphère, que nous ne connaissons pas, dans laquelle la solaire peut être enveloppée, comme l'atmosphère de la terre l'est dans celle du soleil. Enfin la remarque la plus essentielle pour notre dessein est que ce fluide solaire doit nécessairement faire ses révolutions autour de l'axe du soleil, et même que toutes ses parties ne manqueraient pas de faire le tour ensemble avec le soleil dans 25 1/2 jours de temps, si le mouvement n'était pas empêché dans les limites de l'atmosphère : cet empêchement fera que les temps périodiques de la matière croîtront vers les limites. Je présume pourtant que, malgré cette diminution de mouvement, les vitesses (qui sans cela suivraient la proportion des distances de l'axe du soleil) ne laissent pas d'être plus grandes, quand les distances dudit axe sont plus grandes. » (*Op. cit.*, p. 103-104).

somme qu'une transposition d'une des objections de Newton contre les tourbillons, celle qui reposait sur la différence entre la vitesse de rotation de la surface solaire et celle que la règle de Képler obligeait à reconnaître à la couche contiguë à cette surface. Bernoulli se rendait fort bien compte de la manière dont il pouvait par conséquent étendre sa remarque ; mais il se refusait à porter la question jusque-là : « Je n'entre pas ici, disait-il (1), dans l'examen, si cet argument n'est pas contraire au système des tourbillons en général, que je ne veux pas réfuter. »

En même temps que cette réflexion ne pouvait laisser aucun doute sur l'intention de D. Bernoulli de ne pas prendre nettement position dans le grand débat entre cartésiens et newtoniens, elle permettait de prévoir où seraient allées ses préférences, s'il était intervenu. Sa défiance vis-à-vis du cartésianisme se marquait d'ailleurs encore mieux lorsqu'après avoir signalé la nécessité d'une cause, quelle qu'elle soit, qui pousse les corps célestes vers le centre du soleil, il ajoutait : « Si l'on trouve que les tourbillons déférants puissent rendre cet office aux planètes et à la terre, je ne m'opposerai point qu'on établisse de tels tourbillons, qui traversent l'atmosphère, et cela ne sera pas contraire à ce que j'ai dit, que l'atmosphère elle-même ne peut pas faire cette fonction : j'avoue pourtant que, même après avoir lu attentivement la dissertation de M. Jean Bernoulli (il s'agit de celle de 1730), il me reste encore plusieurs difficultés contre le système des tourbillons. Mais la grande pénétration de ce célèbre auteur, et surtout l'éminente autorité de l'Académie, dont il a peut-être emporté les suffrages jusque dans cette matière, ne me permettent pas de dire mon sentiment avec confiance. Je souffrirai encore qu'on dise que l'atmosphère mue autour de l'axe du soleil est précisément le tourbillon déférant des planètes, s'il paraît aux autres que cela puisse être, quoique à moi cela ne me paraisse pas. » (1)

(1) *Op. cit.*, p. 107.

Au fond même de tout son système, D. Bernoulli mettait d'ailleurs, en s'appuyant sur l'expérience, une cause « qui contrebalance la force centrifuge, et qui pousse continuellement les planètes et la terre vers le centre du soleil. » S'il appelait cette cause « pesanteur solaire », il ne nous est cependant guère possible d'en méconnaître, sinon l'identité, au moins la profonde analogie avec l'attraction newtonienne. Certes, là encore, il ne s'opposait pas à ce que l'on cherchât à cette cause une cause en quelque sorte plus primordiale, en imaginant certains mouvements tourbillonnaires plus ou moins compliqués ; il se refusait même à voir quelque absurdité ou quelque impossibilité dans l'hypothèse de Bulffinger, à laquelle il faisait allusion sans la citer directement; mais il se gardait bien d'aller jusqu'à se prononcer sur la vraisemblance d'explications tentées dans cet esprit, et il nous semble bien qu'il y avait quelque hâte à abandonner ce terrain litigieux dans cette courte remarque : « Comme cela n'appartient proprement pas à notre propos, je ne m'y arrêterai pas davantage. » (1) En d'autres termes, tout en évitant, autant que possible, de froisser les cartésiens par quelque réflexion qui eût pu être interprétée comme une critique déguisée, ou qui, à plus forte raison, eût été une véritable objection, D. Bernoulli, beaucoup plus nettement que son père, se ralliait au newtonianisme (2).

(1) *Op. cit.*, p. 109.

(2) Sa conception de l'atmosphère solaire lui semblait cependant heureusement concilier les idées essentielles du newtonianisme avec une utilisation de plus en plus rationnelle des principes de la mécanique impulsive. « Ne vaut-il pas mieux employer ces principes, que de recourir à une volonté immédiate du Créateur, comme le font, par rapport à plusieurs phénomènes, ceux qui veulent tout déduire de la simple gravitation mutuelle des corps mus dans un vide ? Et peut-il se faire que la volonté de Dieu n'ait pas tout son effet ? qu'il ait voulu que les orbites planétaires fussent dans un même plan, sans qu'elles le soient parfaitement ; qu'elles fussent circulaires sans qu'elles soient tout à fait telles ; et ainsi de plusieurs autres points, auxquels il faut rapporter que la terre et toutes les planètes se meuvent d'un même sens, et nommément de celui duquel le soleil se tourne autour de son axe : qu'il en est de même dans les mondes de Saturne et de Jupiter, lesquelles choses

Quant à la cause de l'inclinaison des orbites des planètes, voici comment il pensait réussir à l'expliquer, en combinant l'action de l'atmosphère solaire à celle de la pesanteur solaire : « Le mouvement de l'atmosphère solaire fait d'abord, en ne faisant point d'attention à la pesanteur solaire, que les corps tendent à faire leur course, ou dans l'équateur du soleil, ou dans un plan parallèle : et si ces corps marchent obliquement, il arrivera que peu à peu ils s'accommoderont à ladite direction, mais pourtant sans la prendre jamais parfaitement, sinon après un temps infini. Les corps s'approcheront d'autant plus vite de leur direction naturelle, que la matière qui les environne est plus dense, que la différence de vitesses des corps et de la matière est plus grande, que les corps sont d'une matière plus rare, et enfin, d'autant que ces corps sont plus petits.

« La pesanteur solaire, contraire et égale à la force centrifuge des corps célestes, fait d'ailleurs que ces corps ne peuvent se mouvoir que dans des plans qui passent par le centre du soleil.

« Il paraît donc, en considérant l'action de l'atmosphère, et la pesanteur solaire ensemble, que la direction naturelle et immuable des corps qui se meuvent autour du soleil, doit être telle, qu'elle satisfasse aux deux points que nous venons d'exposer ; ce qui ne peut se faire sans que les orbites soient dans l'équateur solaire. Si elles ne sont pas réellement dans cet équateur, qui est leur situation naturelle et immuable, elle s'en approchent, et cela fort sensiblement, lorsqu'elles en sont beaucoup éloignées ; mais, au contraire, avec une extrême lenteur, lorsque les mêmes orbites se confondent presque avec ledit équateur ; aussi bien n'y arrivent-elles tout à fait qu'après un temps infini. » (1)

sont telles, que, si elles étaient encore cachées, notre théorie nous les dicterait, pendant que M. Newton même, le plus grand philosophe de notre siècle, déclare dans son *Optique* qu'on n'en saurait donner aucune raison mécanique. » (*Op. cit.*, p. 120-121).

(1) *Op. cit.*, p. 109. Nous pouvons remarquer comment D. Bernoulli se

Cette explication paraissait à son auteur confirmée par les comètes ; il estimait en effet pouvoir tirer de sa théorie « que les plans des orbites de celles-ci ne changeront jamais sensiblement leur inclinaison avec l'équateur solaire, quelque grande qu'elle soit, ou parce qu'elles sont presque toujours posées entièrement hors de l'atmosphère solaire (comme vraisemblablement la lune l'est hors de celle de la terre, et le cinquième satellite de Saturne hors de celle de Saturne), ou parce qu'elles ne se laissent point détourner de leur route à cause de la trop grand subtilité de la matière de l'atmosphère qui les environne pendant leur révolution presque tout entière. Il est vrai que les comètes étant près de leur périhélie, elles doivent s'approcher un peu de l'équateur solaire : mais ce temps est à peine comparable avec le reste du temps de la révolution, et il paraît par les exemples allégués sur les densités de l'atmosphère solaire que la densité commençant une fois à décroître, elle décroît si vite qu'elle se perd d'abord presque tout entière; tout cela montre pourquoi les comètes, dont la distance au soleil est, pendant presque tout le temps de la révolution, comme infinie, ne tendent pas sensiblement vers l'équateur du soleil. » (1)

trouvait amené à poser le problème d'une façon analogue à celle dont l'avait envisagé Bouguer. Au lieu de partir de la concordance des plans, il supposait au contraire au début une obliquité assez considérable progressivement ramenée dans des limites moindres. « Je me persuade donc qu'aux temps fort reculés, les corps qui se meuvent autour du soleil ont décrit des orbites, faisant avec l'équateur solaire des angles beaucoup plus grands qu'ils ne font à présent, et que ces angles ont varié beaucoup plus entre les différentes orbites, que dans nos temps : mais que ces orbites ont été réduites peu à peu dans les bornes étroites où elles sont à présent, et qu'après un temps infini, elles se réuniront entièrement dans un même plan, qui sera celui de l'équateur solaire. » (*Op. cit.*, p. 110).

(1) *Op. cit.*, p. 117. Notons ici cet usage de l'argument *a contrario* pour répondre à une question connexe, dont se préoccupait également l'Académie.

CHAPITRE V

La préparation des grandes controverses (1735-1737)

64. — A travers des discussions inévitables mais fécondes, nous venons de voir le newtonianisme accroître sa prépondérance ; et, si toutes les hésitations étaient loin d'avoir disparu, elles cachaient très souvent bien moins une méfiance hostile qu'une prudente réserve, tout à fait de circonstance dans des problèmes aussi nombreux et aussi importants. Pourtant les cartésiens ne pouvaient pas si vite avouer l'insuffisance de leur système : quand même il n'y aurait eu de leur part aucun parti pris, ils représentaient cette tendance générale de l'esprit humain, toujours porté à s'installer dans ses créations antérieures, devenues commodes par l'habitude, à s'insurger contre tout ce qui bouleverse une théorie à laquelle l'attachement traditionnel donne l'apparence d'une plus grande intelligibilité.

Aussi les critiques réciproques précédentes ne pouvaient-elles être que le prélude de plus grandes controverses, à la préparation desquelles nous allons assister.

Nous avons vu (§ 1) qu'une des objections de Newton contre les tourbillons consistait à demander comment pouvaient s'accorder, dans la théorie cartésienne, les mouvements du tourbillon général et des tourbillons particuliers, et comment les vitesses de rotation des planètes sur leurs axes restaient conciliables avec les vitesses des couches du fluide tourbillonnaire contiguës à leurs surfaces. La difficulté avait bien vite paru surtout embarrassante dans la considération du rapport existant

entre la vitesse de surface des planètes et les vitesses des couches de leurs tourbillons particuliers, le tourbillon solaire n'entrant en ligne de compte directement que pour la comparaison de la vitesse de surface du soleil avec la vitesse de la couche contiguë à cette surface.

« La principale difficulté qui se présente, dans le système des tourbillons, sur le temps que le soleil et les planètes emploient à faire leurs révolutions autour de leur axe, consiste à expliquer pourquoi la vitesse avec laquelle ces astres se meuvent autour de leur axe à leur surface n'est pas d'une quantité égale à celle que l'éther ou le fluide qui y est contigu doit avoir suivant la règle de Képler. »

C'est en ces termes que Cassini posait la question au début de son mémoire de 1735 (1).

En effet, « comme, dans le système des tourbillons, les planètes sont emportées autour du soleil avec le même degré de vitesse que le fluide dans lequel elles nagent, il suit que la vitesse de ce fluide doit avoir le même rapport à l'égard de sa distance au centre du soleil, ce qui doit s'observer aussi dans les différentes couches du fluide qui compose ce tourbillon.

« Suivant cette proportion, on trouvera la vitesse du fluide qui touche immédiatement la surface du soleil en cette manière ; le demi-diamètre du soleil vu de la terre dans sa distance moyenne étant de $0^d\ 16'\ 5''$, on fera comme le sinus de $0^d\ 16'\ 5''$ est au sinus total, ainsi 1 est à la distance du soleil à la terre, que l'on trouvera de 220 demi-diamètres du soleil. Prenant le cube de 1 et de 220, on aura 1 et 10648000, dont la racine carrée est 1 et 3263 ; ainsi le fluide qui est à la circonférence du soleil, doit achever sa révolution 3263 fois plus vite que celui par lequel la terre est emportée autour du soleil dans

(1) *De la révolution du soleil et des planètes autour de leur axe ; et de la manière que l'on peut concilier, dans le système des tourbillons, la vitesse avec laquelle les planètes se meuvent à leur surface, avec celle que l'éther ou le fluide qui les environne, doit avoir suivant la règle de Képler*, in *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1735, p. 616.

l'espace d'une année. Divisant 365 jours et un quart ou 8766 heures par 3263, on aura 2 h. 41′ qui mesurent le temps que le fluide, qui est contigu à la surface du soleil, doit employer à faire sa révolution suivant la règle de Képler. Mais la révolution du soleil autour de son axe se fait en 25 jours et demi : les divisant par 2 h. 41′, on aura 228 pour la vitesse dont le fluide entraîné par le tourbillon du soleil, près de sa surface, surpasse la vitesse du mouvement de chaque point de cette surface. » (1)

Saurin avait déjà proposé, pour la terre, le calcul suivant : « La lune étant éloignée de nous ou du centre de notre tourbillon particulier d'environ 60 demi-diamètres de la terre, le cercle qu'elle parcourt autour de ce centre est 60 fois aussi grand que celui que décrit un point de la surface de la terre sous l'équateur ; et par conséquent elle a 60 fois autant de chemin à faire pour achever sa révolution, que ce point pour achever la sienne. Ainsi, quand la lune n'achèverait sa révolution qu'en 60 jours, elle irait aussi vite que la terre qui tourne en un jour. Si la révolution de la lune s'achevait en 30 jours, sa vitesse serait double de celle de la terre sous l'équateur : la lune n'employant qu'un peu plus de 27 jours et demi à faire son tour, il s'ensuit que sa vitesse est un peu plus que double de celle de la terre. Cela posé, la distance de la matière céleste qui circule ici-bas, et qui n'est éloignée du centre du tourbillon que d'un demi-diamètre de la terre, et la distance de la lune que nous avons faite de 60 de ces demi-diamètres, sont l'une à l'autre comme 1 à 60, et leurs racines carrées à peu près comme 1 à 8, ou comme 2 à 16, ou comme un peu plus de 2 à 17 : donc en raison renversée, conformément à la règle de Képler, la vitesse de la matière céleste proche de nous est à la vitesse de celle qui emporte la lune comme 17 à un peu plus de 2 ; mais nous avons trouvé que la vitesse de la lune, ou de la matière céleste dont elle suit le cours, était en effet à la vitesse de la terre

(1) *Op. cit.*, p. 617.

comme un peu plus de 2 à 1 : donc la vitesse de la matière céleste ici-bas est à la vitesse de la terre environ comme 17 à 1. » (1)

Les calculs de Cassini l'amenaient au même résultat, mais il ne s'en tenait encore pas là. « Si l'on compare de même, continuait-il, le temps que Jupiter emploie à faire sa révolution autour de son axe avec celui de la révolution de ses satellites, on trouvera que chaque point de la surface de cette planète se meut un peu plus de trois fois plus lentement que le fluide qui l'environne immédiatement.

« Si donc, insistait Cassini, la terre et les planètes sont emportées par le tourbillon du soleil autour de cet astre, de même que les satellites autour des planètes principales, avec des degrés de vitesse qui suivent la règle de Képler, comme il est constant par les observations, de quelle manière peut-on expliquer l'inégalité qui en résulte entre la vitesse du fluide qui touche immédiatement leur surface, et la vitesse de chaque point de cette surface, qui, comme nous l'avons calculé, se trouve dans le soleil comme 1 à 228, dans la terre comme 1 à 17, et dans Jupiter comme 1 à 3? » (2).

Mais l'objection ainsi posée dans toute sa force paraissait à Cassini susceptible d'une solution satisfaisante, à condition que l'on tînt compte d'un élément important : l'atmosphère. Non seulement, en effet, certaines expériences faites par Cassini lui-

(1) *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1709, p. 183-184. Saurin voyait bien la difficulté que soulevait ce calcul : « Selon la règle de Képler jointe à l'hypothèse de nos tourbillons, la matière céleste fait autour de la terre 17 révolutions en un jour, d'où vient que la terre n'en fait qu'une ? Pourquoi ne suit-elle pas la règle ? Cette difficulté est commune aux autres tourbillons ; Jupiter et Saturne tournent chacun autour de son centre, et tous deux infiniment moins vite qu'ils ne devraient selon la règle. Le soleil, qui occupe le centre du grand tourbillon, tourne de même autour de son axe et met environ 27 jours et demi à tourner ; au lieu que, suivant la règle, il n'y devrait employer qu'un peu plus de trois heures. » (*Op. cit.*, p. 185). Saurin ne voyait d'ailleurs pas de meilleure solution que celle de Villemot dans sa *Nouvelle explication*.

(2) *Op. cit.*, p. 618.

même dans les Pyrénées l'avaient amené, à la suite d'observations barométriques, à conjecturer que l'atmosphère terrestre devait être d'une grande étendue, mais les explications apportées, en 1680, par son père sur la lumière zodiacale supposaient encore autour du soleil une atmosphère s'étendant à une très grande distance. La disparition d'une étoile de 5ᵉ grandeur à l'approche de Mars avait fait juger alors qu'une atmosphère se trouvait également répandue autour de cette planète, au moins jusqu'à la distance de deux tiers de son diamètre. Enfin, les travaux de Cassini sur Saturne l'avaient conduit à aller chercher dans l'hypothèse d'une atmosphère soutenant des nuages l'explication de certaines bandes obscures aperçues sur cette planète. Par tout cela, Cassini s'estimait donc autorisé, en l'absence d'autres observations, à attribuer, par analogie, une atmosphère à toutes les planètes.

Il ajoutait une autre supposition, en admettant « que les planètes entraînent par leurs révolutions autour de leur axe leur atmosphère, de même que si elles ne faisaient, pour ainsi dire, qu'un même corps avec elle. » (1)

Et le problème se trouvait alors posé en termes nouveaux ; en effet, « si on donne à notre atmosphère une étendue convenable, qui excède 6 à 7 fois le demi-diamètre de la terre qui est de 1.500 lieues, nulle difficulté d'expliquer, dans le système des tourbillons, pourquoi, la lune faisant sa révolution autour de la terre en 27 jours et un tiers, la terre avec son atmosphère n'en doit employer qu'un à faire sa révolution autour de son axe, en conservant toujours dans chaque couche de son tourbillon la vitesse qui résulte de la règle de Képler, et qui, dans la dernière de ces couches, est précisément égale à celle de la

(1) *Op. cit.*, p. 620. Là encore l'analogie devait intervenir, en utilisant les expériences barométriques faites sur les montagnes les plus élevées et les conclusions que pourrait justifier la considération du mouvement de révolution de la terre autour du soleil : en raison de la rapidité de ce mouvement, la terre devrait abandonner son atmosphère, si elle ne faisait en quelque sorte corps avec elle.

surface de cette atmosphère qui la touche immédiatement. » (1)

Même raisonnement concernant le soleil, pour lequel cependant le problème de l'épaisseur de la couche atmosphérique se trouvait compliqué par la double nécessité, que cette couche fût assez étendue pour pouvoir expliquer la lumière zodiacale jusqu'aux approches de la terre, et qu'elle ne le fût pas cependant au point d'apporter quelques perturbations dans les mouvements de Mercure, de Vénus et de la terre. Cassini pensait éviter cette double difficulté en donnant à cette atmosphère l'étendue de 37 demi-diamètres du soleil, chiffre exigé par les calculs pour que les parties qui sont à la surface aient le même degré de vitesse que le fluide qui les touche immédiatement (2).

Quant à Jupiter, Cassini ne pensait pas que son atmosphère dût s'élever au-dessus de la surface de cette planète de beaucoup plus d'un de ses demi-diamètres. Il faisait cette distance dans le rapport de 8 à 7 à son demi-diamètre.

En supposant que l'étendue de l'atmosphère de Saturne fût égale au demi-diamètre de l'anneau, Cassini, renversant ici sa méthode, espérait, en l'absence, à cette époque, de toute donnée précise sur le temps mis par cette planète à faire sa révolution autour de son axe, déterminer la durée de cette révolution (3).

(1) *Op cit.*, p. 623. « Si, au lieu de supposer que le mouvement de notre atmosphère suit précisément celui de la terre, de même que ferait un corps solide qui lui serait adhérent, comme nous croyons l'avoir démontré, on juge qu'il est retardé par la matière fluide ou éthérée qui le pénètre ; en ce cas, il faudra donner à cette atmosphère une étendue assez grande pour que la vitesse de chaque partie de sa surface ainsi retardée soit égale à celle de l'éther ou du fluide qui l'environne, ce qui suffira pour concilier le système des tourbillons avec la règle de Képler. » (p. 623-624).

(2) La lumière zodiacale proviendrait d'émanations solaires portées au delà de l'atmosphère du soleil ; et le chiffre de 37 demi-diamètres laisse les limites de cette atmosphère bien en deçà de l'orbite de Mercure, dans une proportion qui est à peu près comme 10 à 22.

(3) L'ingéniosité du procédé mérite d'être signalée. « La distance de la circonférence extérieure de l'anneau au centre de Saturne étant à celle du premier satellite au même centre comme 3 à 4, ou 1 à 4/3 ; prenant le cube de 4/3, on aura 64/27, dont la racine carrée est $\frac{8}{5\frac{1}{5}}$ qui est à 1, comme

« Nous n'étendrons pas davantage nos conjectures sur l'atmosphère des autres planètes, concluait Cassini (1), parce qu'on n'y a pas encore découvert de satellites, dont il serait nécessaire de connaître la révolution, pour y appliquer nos principes. Il nous suffira d'avoir fait voir, dans ce mémoire, qu'on peut concilier aisément, dans le système des tourbillons, les périodes des révolutions des planètes autour de leur axe, avec celles que les fluides qui les environnent doivent avoir suivant la règle de Képler, ce que l'on a regardé comme une des plus fortes objections contre ce système. »

« Nous avons déjà vu par plus d'un exemple, déclarait Fontenelle avec un certain sentiment de triomphe (2), que ce système est sujet à essuyer de violentes attaques, et assez accoutumé à n'y pas succomber. »

65. — D'ailleurs, Cassini avait à peine obtenu ce résultat satisfaisant qu'il reprenait déjà l'examen d'une autre difficulté, qui venait de prendre, sous l'influence opposée de Maupertuis (§ 48) et de Privat de Molières (§ 54), une importance croissante. Il se préoccupait donc *De la manière de concilier, dans l'hypothèse des tourbillons, les deux règles de Képler* ; et le mémoire qu'il présenta, sous ce titre, à l'Académie, en 1736 (3), mérite d'autant mieux l'attention qu'il venait en somme compléter toute une série de travaux du même auteur.

Après avoir précisé l'objection et écarté la réponse que l'on y pourrait faire en s'appuyant sur le défaut de précision dans la théorie des planètes, ou sur les erreurs qui peuvent se

1 j. 21 h. 18', temps que le premier satellite emploie à faire sa révolution autour de Saturne, est à 1 j. 5 h. 19' qui mesurent le temps que cette planète doit employer à faire sa révolution autour de son axe. C'est ce qu'on tâchera de vérifier, s'il s'en présente quelque occasion favorable. » C'est à William Herschel qu'était réservée la première détermination de la durée de rotation de Saturne (1794).

(1) *Op. cit.*, p. 630-631.

(2) *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1735, p. 61.

(3) *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1736, p. 323 et suiv.

glisser dans les observations (1), il estimait nécessaire de trouver quelques causes physiques permettant la conciliation de ces deux lois.

Il cherchait alors une première explication dans l'hypothèse d'altérations apportées dans les figures des tourbillons, en partant de la figure sphérique (dans laquelle la question ne se poserait pas), par l'assemblage des tourbillons et leurs forces différentes. « Il résulte de cette hypothèse que les couches de la matière fluide ou éthérée, qui suivaient la première règle de Képler, et décrivaient leur mouvement circulaire autour du soleil, étant comprimées d'un côté et dilatées de l'autre, n'ont pu conserver dans chacun de ces orbes les mêmes degrés de vitesse qu'elles avaient entre elles, et qu'il n'y a que les seules couches qui se trouvaient près des moyennes distances de la planète au soleil, qui se soient maintenues dans leur degré primitif de vitesse, ce qui est conforme aux observations, suivant lesquelles le mouvement des planètes suit exactement les deux règles de Képler, tant entre elles que sur leurs orbes, lorsqu'elles se rencontrent dans leurs moyennes distances. » (2)

Cette explication pouvait suffire, de l'avis même de Cassini ; cependant, pour donner plus de force encore à sa démonstration, l'auteur en apportait une autre, qu'il appuyait sur la différence de vitesse résultant du passage d'une aire dans une autre, précisément si l'on considère, avec Descartes, une matière éthérée. Obligée de se plier aux figures imposées aux tourbillons et les empêchant de décrire des mouvements circulaires, cette matière, pour occuper toujours un espace égal, doit augmenter ou diminuer la vitesse de son mouvement. Si bien que « le mouvement de la matière éthérée, qui, dans les moyennes distances, suit la première règle de Képler, sera donc retardé en s'approchant de l'aphélie, de la même quantité que

(1) « Il serait dangereux, pour la perfection de l'Astronomie, d'accommoder les observations à nos hypothèses, au lieu d'établir, comme on le doit, les hypothèses sur les observations. » (*Op cit.*, p. 332).

(2) *Op. cit.*, p. 333-334.

nous avons fait voir qu'il devait s'accélérer en s'approchant du périhélie, conformément à la seconde règle de Képler. » (1) Certes, pour que cette explication ait quelque valeur, il fallait admettre que cette matière est retenue dans chacun de ses orbes, sans pouvoir pénétrer de l'un dans l'autre. Mais cette impénétrabilité réciproque des orbes apparaissait à Cassini comme la condition même de leur persistance : la possibilité d'une interpénétration ferait tomber les tourbillons dans la dispersion par la force centrifuge.

Ainsi Cassini s'estimait autorisé à conclure « que, bien loin que le système des tourbillons puisse recevoir quelque atteinte de ce que l'on observe différentes lois de mouvements dans les planètes par rapport à leurs distances, il peut servir à les concilier ensemble parfaitement, puisqu'on peut regarder la première de ces lois comme générale, et la seconde comme un effet particulier des tourbillons et de la figure elliptique des orbes des planètes, qui modifie, vers les extrémités de ces orbes, les degrés de vitesse, que la matière qui y est contenue suivait par la première loi, et la fait accélérer ou retarder, de manière qu'elle fasse décrire aux planètes des mouvements qui s'accordent aux lois de la seconde règle. » (2)

On ne pouvait retourner d'une manière plus ingénieuse une objection en une preuve ; non seulement le cartésianisme se trouvait par là débarrassé d'une difficulté, mais il apparaissait comme, sinon seul à y répondre, du moins spécialement bien placé pour le faire. Et l'on comprend alors l'enthousiasme renouvelé de Fontenelle devant les destinées brillantes du système cartésien.

« Une grande objection, et des plus redoutables contre les tourbillons cartésiens, est que l'on voit des comètes qui se meuvent contre la direction du mouvement de ces tourbillons. M. Cassini a fait voir en 1730, par l'exemple d'une comète qu'il observa, qu'elles pourraient, aussi bien que les planètes, paraî-

(1) *Op cit.*, p. 337.
(2) *Op cit.*, p. 338.

tre quelquefois se mouvoir contre le tourbillon, ou être rétrogrades, sans cesser jamais d'être directes. Par là, le vide newtonien serait détruit, et le plein cartésien rétabli. M. Cassini a montré, en 1735, que les rotations des corps célestes, fort différentes à ce qu'il paraît de la première loi de Képler, s'y peuvent ramener. Enfin, il montre ici l'accord des deux lois de Képler sur un point où leur opposition semblait manifeste. Il ne doit point être question ici de M. l'abbé de Molières, dont nous avons souvent parlé à l'occasion de tout ce qu'il a fait ou pour défendre ou pour affermir le système cartésien; mais, autant qu'on peut juger d'un avenir auquel les accidents de la fortune ont moins de part qu'à tout autre, la fin de la guerre pourrait être avantageuse à ce système. » (1)

Que Fontenelle ait été, en cette circonstance, visiblement influencé dans ses pronostics par sa prédilection pour le cartésianisme, et qu'il ait mis quelque présomption à attendre de l'avenir la réalisation d'un espoir que le présent pouvait déjà

(1) *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1736, p. 132-133. Remarquons ici, pour n'y pas revenir, que, l'année suivante, Cassini devait suggérer une autre manière de répondre à l'objection tirée du mouvement des comètes rétrogrades. La régularité de la marche de la comète de 1737 par rapport à la terre l'ayant amené à supposer possible que cette comète fût un satellite de la terre, conformément à l'idée de plusieurs astronomes « qui ont jugé que, comme le soleil n'est pas le seul qui ait des planètes dont les révolutions se font autour de lui, il se peut faire aussi qu'outre les comètes qui tournent autour du soleil, il y en ait d'autres qui se meuvent autour des planètes principales, et sont pour ainsi dire leurs satellites », il ajoutait, faisant allusion à l'objection visée : « Il suffirait de répondre à cette objection, qu'il en est de même de certaines comètes que des satellites de Jupiter et de Saturne, qui, pendant la moitié entière de leur révolutions, nous paraissent rétrogrades, quoiqu'ils soient réellement directs, sans que cette apparence répugne au système des tourbillons, suivant lequel on peut rendre raison aisément de la révolution de la lune autour de la terre et des satellites autour de leurs planètes principales, sans s'écarter des lois communes du mouvement.

« Il ne serait pas même nécessaire de supposer que ces comètes fassent leurs révolutions autour des planètes que nous connaissons. Depuis la plus éloignée de ces planètes, qui est Saturne, jusqu'aux étoiles fixes les plus voisines, il y a un intervalle immense par rapport auquel le diamètre entier de l'orbe annuel, qui est de plus de 60 millions de lieues, n'a presque aucune

faire apparaître comme fragile, on ne saurait le contester. Trop de signes marquaient l'influence croissante du newtonianisme pour que le sens de l'évolution ne fût pas susceptible de se révéler à un observateur qui aurait réussi à ne pas se laisser entraîner par les polémiques. Mais l'attitude de Fontenelle n'était pas cependant absolument dépourvue de fondements : les efforts des cartésiens, sur lesquels il appuyait sa conviction comme sur des preuves, ne manquaient ni de continuité, ni d'ingéniosité, et risquaient par conséquent de tenir encore pendant quelque temps le newtonianisme en échec.

66. — S'il y avait encore des savants pour défendre la physique céleste de Descartes, il n'en manquait pas non plus pour soutenir les explications cartésiennes concernant certains points de physique, sur lesquels pourtant les théories newtoniennes avaient tout d'abord plus facilement pris l'avantage. Le fait apparaît avec une grande évidence dans le résultat du concours de 1736, sur la question de la propagation de la lumière. Nous avons vu que, de tous les ouvrages de Newton, c'était son *Optique* qui avait rencontré le plus vite en France l'accueil le plus enthousiaste ; et, si ce succès était dû avant tout à la partie expérimentale, il faut admettre pourtant que la valeur reconnue à ces expériences n'était pas sans avoir quelque répercussion dans les jugements portés sur l'ensemble de l'œuvre. Malgré tout, cependant, la dissertation de Jean Bernoulli (le fils), qui réunit les suffrages des académiciens, bien loin d'être directement inspirée de Newton, manifestait une préférence

proportion, si l'on admet le système de Copernic, et il n'y aurait rien de surprenant que toute cette étendue fût parsemée de planètes trop éloignées de nous pour en être aperçues, puisque la terre même ne pourrait pas être vue de Saturne sans le secours des lunettes.

« Mais nous n'avons pas eu encore besoin d'avoir recours à ces sortes d'explications, quoique très vraisemblables, pour rendre raison de la différente direction de la route des comètes. » (*De la comète de* 1737 in *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1737, p. 244-245).

nettement marquée de son auteur, sinon pour Descartes, du moins pour Malebranche.

Certes Bernoulli qualifiait d' « admirable » l'*Optique* de Newton, et ajoutait que c'était un des ouvrages dont il faisait le plus de cas, en raison précisément du « grand nombre d'observations et des belles expériences » dont on y pouvait trouver l'exposé. Mais il se refusait à considérer comme une explication satisfaisante la théorie de l'émission de corpuscules imaginée par Newton. « Au lieu que chez lui, faisait-il remarquer (1), les particules dures, qui font la matière des rayons solaires, sortent du soleil lui-même, et se lancent avec une rapidité énorme sur les objets les plus éloignés par un mouvement de transport ; chez moi... etc. » ; et, tandis qu'il opposait, dans ce passage, un résumé de ses idées à la théorie newtonienne rapidement rappelée, il affirmait ailleurs avec insistance : « Comme son système diffère beaucoup de ma théorie, il me serait impossible de lui accéder dans toutes les circonstances, et particulièrement dans la manière d'expliquer la propagation de la lumière. » (2)

D'après Malebranche (3), toutes les parties du corps lumineux sont dans un mouvement rapide, et ce mouvement produit des pulsations très vives dans la matière subtile qui se trouve entre le corps lumineux et l'œil. Selon que ces pulsations, appelées vibrations de pression, sont plus ou moins grandes, le corps paraît plus ou moins lumineux ; et, selon qu'elles sont plus promptes ou plus lentes, le corps paraît de telle ou telle couleur. Une telle conception s'appuyait, chez Malebranche, sur son idée des petits tourbillons ; et il n'avait guère fait autre chose que de substituer aux globules durs de Descartes ces petits tourbillons de matière subtile.

(1) *Recherches physiques et géométriques sur la propagation de la lumière*, p. 55.

(2) *Op. cit.*, p. 53.

(3) Voir *Recherche de la vérité* et *Réflexions sur la lumière et les couleurs*, in *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1699, p. 32 et suiv.

Bernoulli reprenait, comme nous allons le voir, le fond de ce système, avec cette différence qu'il ajoutait aux petits tourbillons de petits globules durs ou solides, répandus çà et là, selon lui, dans l'espace occupé par les petits tourbillons.

D'abord il sentait bien la nécessité d'un principe de dilatation, d'une force dilatatrice, et en même temps l'obligation de rendre raison de ce principe de dilatation. « Car est-il naturel ou essentiel à la matière ? Point du tout ; on conçoit la matière, sans y comprendre la vertu de se dilater nécessairement. Il faut donc une matière universelle qui soit élastique ; mais ce ressort, cette force élastique, d'où lui vient-elle, puisque la matière, en tant que telle, ne demande point cette vertu, pouvant exister sans être élastique ? » (1). Or les petits tourbillons convenaient parfaitement pour donner ainsi à la matière l'élasticité requise : leur force centrifuge, d'autant plus grande que leur diamètre était plus petit, fournissait le principe de dilatation cherché (2).

« Je me figure présentement, ajoutait Bernoulli (3), que tout cet amas de petits tourbillons, qui remplit les vastes espaces du monde, est parsemé de corpuscules très substils, durs ou solides, laissant entre eux des intervalles, si vous voulez, mille fois plus longs que le diamètre d'un de ces corpuscules, je n'en détermine pas la longueur, il suffit que je conçoive très clairement que chaque ligne droite tirée d'un point à l'autre, enfilera une infinité de ces petits corpuscules, dont je puis supposer les intervalles à peu près égaux, puisque les corpuscules sont

(1) *Op. cit.*, p. 8. Cependant, « s'il est permis à MM. les newtoniens de supposer une attraction universelle des corps les uns vers les autres, quoiqu'ils n'en puissent alléguer aucune cause physique compréhensible ; à plus forte raison nous sera-t-il permis de supposer une force dilatatrice qui se trouve dans une matière très subtile, qui remplit les vastes espaces du monde, et dans laquelle les autres corps sont isolés comme des îlots flottants dans l'océan. » (*Op. cit.*, p. 7).

(2) Bernoulli se plaisait à montrer la supériorité de cette théorie sur les remarques de Newton concernant la très grande élasticité de l'éther. Il reprochait, en effet, au savant anglais d'avoir fait de cette élasticité « une pure supposition, sans en alléguer aucune cause physique. » (*Op. cit.*, p. 42).

(3) *Op. cit.*, p. 10.

uniformément dispersés parmi les petits tourbillons, quoique les corpuscules eux-mêmes puissent être de différente grandeur. »

Quel mécanisme supposait ensuite Bernoulli dans ces corpuscules et ces petits tourbillons ? « Ces corpuscules demeureront tous en repos, les plus et les moins grands, comme le hasard les a placés, étant également pressés de tout côté par les tourbillons qui les environnent ; mais, dès qu'une force nouvelle survient d'un côté, qui pousse ou chasse un de ces corpuscules de sa place suivant une certaine direction, l'équilibre ne pourra plus se soutenir, puisqu'il est clair que les petits tourbillons situés entre le corpuscule poussé et le plus voisin sur la même ligne de direction seront comprimés en forme de ressort, et pousseront par conséquent aussi ce second corpuscule, ensuite le troisième, le quatrième, etc., jusqu'à un grand nombre, avant que la compression soit entièrement achevée ; ce qui étant fait, les tourbillons, en se restituant sur le champ, repousseront les corpuscules, et même au delà de leur centre de repos, presque autant qu'ils s'en étaient écartés de l'autre côté, d'où ils seront chassés et rechassés une seconde fois, et ainsi de suite, faisant un grand nombre de réciprocations en forme d'oscillations ou de vibrations, mais très petites et très promptes. » (1)

Or l'impulsion initiale nécessaire à ces oscillations paraissait à Bernoulli facile à trouver dans le choc des particules solides, violemment agitées dans les corps lumineux, contre l'éther environnant ces corps ; et dès lors il avait tout ce que réclamait une explication des vibrations produites le long de chaque ligne droite partant du point lumineux, c'est-à-dire des rayons lumineux. Cependant, comme le mouvement oscillatoire exigeait que la première compression prît fin avant d'avoir été transmise dans la longueur nécessairement infinie de ces lignes droites partant de la source lumineuse, l'auteur, sans prétendre

(1) *Op. cit.*, p. 10-11.

déterminer la longueur comprise de l'origine à la fin de la première compression, proposait d'appeler cette longueur fibre lumineuse ; « en sorte qu'un rayon de lumière est une suite ou une chaîne composée d'un grand nombre de fibres lumineuses mises bout à bout sur une longue ligne droite, au moins pendant que la lumière s'étend dans un milieu uniforme. » (1)

Par les « vibrations longitudinales » des fibres lumineuses, Bernoulli expliquait la propagation rectiligne de la lumière et échappait ainsi à l'une des principales difficultés opposées à la théorie de Descartes et à celle de Huygens. Et, comme il s'effor-

(1) *Op. cit.*, p. 12. Bernoulli appelait fibre principale celle qui se trouvait directement en contact avec le corps lumineux, et fibres secondaires celles qui se formaient successivement en partant de la principale. En effet, par l'effort de la matière élastique pour se restituer, non seulement en arrière mais en avant, au moment où l'impulsion primitive a été transmise jusqu'à l'extrémité de la première fibre, non seulement l'éther doit repousser les particules de la première fibre, mais, se répandant aussi du côté opposé et mettant en agitation les particules contiguës, il produit une nouvelle fibre. « Par la même raison et de la même manière, la seconde fibre en engendre une troisième, la troisième une quatrième, et ainsi consécutivement, selon que la violence de la première peut étendre la force plus ou moins loin ; et chacune de ces fibres secondaires commence sa première vibration dans le moment que la précédente achève la sienne pour commencer la seconde. » (*Op. cit.*, p. 28).

En ce qui concerne la direction rectiligne, Bernoulli établissait « que toutes les fibres secondaires produites par une principale doivent être situées bout à bout sur une ligne exactement droite, parce que l'éther également élastique par toute l'étendue des fibres, doit pousser avec forces égales chaque corpuscule par les deux côtés diamétralement opposés, pour le soutenir dans le centre d'équilibre forcé. (« J'appelle *centre d'équilibre forcé*, le point où un corps placé entre deux ressorts bandés, lesquels font un effort égal pour se dilater en directions opposées, est par cela même retenu en équilibre, étant sollicité ou pressé de part et d'autre par deux forces égales et opposées. » (p. 17). Ce qui fait que tous les centres sont enfilés par une même ligne droite qui représente la suite des fibres formées par une principale : car, si un seul ou plusieurs corpuscules ne se trouvaient pas très exactement situés avec les autres sur une même ligne droite, on voit bien que les pressions ne seraient plus opposées diamétralement, par conséquent ces corpuscules viendraient à être chassés hors de la fibre, et n'y appartiendraient plus. Or chaque fibre a ses deux extrémités qui lui tiennent lieu d'appuis immobiles pendant qu'elle fait ses vibrations longitudinales. » (*Op. cit.*, p. 45-46).

çait de rester en accord avec les principes de la physique cartésienne de l'impulsion (1), en utilisant l'hypothèse de Malebranche sur les petits tourbillons, nous pouvons dire que, tout en abandonnant Descartes, il tendait incontestablement à en prolonger l'influence.

Mais, une fois posée cette infinité de fibres lumineuses rectilignes, se prolongeant par adjonction d'autres fibres bout à bout en ligne droite, il restait encore divers points à éclaircir concernant la nature et la constitution de telles fibres. La première de ces questions consistait à se demander si les corpuscules mêlés aux petits tourbillons dans ces fibres sont tous d'égale grosseur. Après avoir répondu par la négative, Bernoulli allait plus loin encore dans la voie des hypothèses : « Quoique les corpuscules nagent dans l'éther pêle-mêle, les plus gros avec ceux qui le sont moins, avant qu'ils soient agités par la matière de la lumière; il faut pourtant être persuadé que, quand l'agitation survient, les corpuscules se sépareront et se rangeront de telle manière, que toutes les fibres soient composées de corpuscules égaux; les unes, de ceux qui sont d'une telle ou telle grosseur, d'autres fibres qui sont composées d'autres corpuscules égaux, d'autres encore composées de corpuscules égaux

(1) Il tenait même, pour faire apparaître la supériorité de l'impulsion sur l'attraction, à faire remarquer « que quand M. Newton considère la gravité comme une force attractive, il le fait dans ses *Princ. Phil.* en qualité de géomètre, sans se mettre en peine de la véritable cause physique de la pesanteur, comme il l'avoue lui-même en plusieurs endroits : ainsi ses partisans lui font tort de lui prêter des sentiments sur la nature de la pesanteur, comme si c'était une qualité des corps essentielle et inhérente, contre sa propre déclaration, d'autant plus qu'il dit positivement que les corps pèsent vers la terre, à cause qu'ils y sont poussés par la force élastique de l'éther. Voici comme il parle : « La force élastique de l'éther, dit-il, est excessivement grande, elle peut suffire à pousser les corps des parties les plus denses de ce milieu vers les plus rares avec toute cette puissance que nous appelons gravité. » (*Traité d'Optique*, p. 520). (*Op. cit.*, p. 42). Rappelons, puisque nous l'avons vu déjà, que Bernoulli reprochait cependant à Newton de ne s'être pas inquiété de trouver à cette force élastique de l'éther elle-même une cause physique.

d'un autre genre de grosseur, et ainsi pour toutes les espèces de fibres. Enfin cela dépend du hasard : selon qu'une certaine fibre qui se produit a son premier corpuscule, qui est le plus proche du point lumineux, d'une certaine grosseur, cela suffit pour faire que tous les corpuscules de la même grosseur, qui se trouvent entre les deux extrémités de la fibre, y demeurent et commencent à participer à l'agitation du premier corpuscule, les autres, plus ou moins gros, n'ayant pas la disposition de suivre avec la même facilité l'ébranlement primitif, seront expulsés de côté et d'autre de la fibre, pour aller de ranger parmi leurs semblables en d'autres fibres qui leur conviennent. » (1)

Assurément, Bernoulli rejoignait par là l'idée de Newton, qui attribuait précisément la diversité des couleurs à la différente grosseur des petits corpuscules solides. Il se plaisait même à reconnaître ce rapprochement d'autant plus volontiers que, se séparant de Descartes sur ce point, il était persuadé, comme Newton (pour des raisons différentes, il est vrai, et propres à lui), « que les couleurs sont primitives et existantes dans la lumière, dès que celle-ci existe elle-même. » (2)

Mais le point très important qui séparait la théorie de Bernoulli de celle de Newton résidait dans la façon tout à fait différente de comprendre le mouvement de ces petits corpuscules solides de diverses grosseurs. Nous avons vu que Bernoulli se refusait en effet à accepter la théorie newtonienne de l'émission et à concevoir ce mouvement de transport très rapide. Or il trouvait dans l'application de cette théorie à l'explication des couleurs une difficulté nouvelle, bien vite considérée par lui comme un argument solide pour la supériorité de sa thèse.

En effet, « pour expliquer les différentes sortes de rayons simples, qui portent avec eux les couleurs de différents ordres,

(1) *Op. cit.*, p. 14. Bernoulli, pour donner plus de vraisemblance à cette hypothèse, en signalait l'analogie avec ce qui a lieu pour les cordes en acoustique.

(2) *Op. cit.*, p. 53.

M. Newton est obligé, comme moi, remarquait Bernoulli, de supposer les particules dures de grandeur et de force différentes; mais il ne démontre pas d'où vient qu'un rayon simple est composé d'une grande file de particules parfaitement égales en grandeur et en vitesse ; et qu'un autre rayon est pareillement composé de particules égales, mais d'un autre genre de grandeur et de force, et ainsi de tous les autres. Mais qu'est-ce qui peut faire ce choix, ou qu'est-ce qui fournit à chaque rayon des particules uniformes, qui lui conviennent pour telle ou telle couleur ? Ne semble-t-il pas que, toutes ces particules se trouvant dans le vaste océan de la matière solaire, mêlées confusément et au hasard, devraient sortir sans distinction de grosseur et de force par tous les points de la surface du soleil, et qu'ainsi chacun des rayons serait composé de particules de toute sorte de grandeur ; quelle des couleurs porterait-il donc avec lui ? Voudrait-on peut-être considérer la surface du soleil comme une lame percée à jour d'une infinité de petits trous de différents diamètres en forme de tamis ou de crible ? Cela ne satisferait pas mieux, puisqu'on verrait bien pourquoi les plus petits trous ne laisseraient passer que les plus petites molécules ; mais il n'y aurait aucune raison pourquoi ceux des trous qui sont les plus larges ne laisseraient pas échapper les moindres molécules pêle-mêle avec les plus grosses. Ce qui interromprait déjà l'uniformité d'un rayon simple, requise pour produire une certaine couleur primitive, excepté peut-être le seul rayon formé par les plus petites particules, lequel, suivant le sentiment de M. Newton, doit porter le violet. » (1) Bernoulli échappait au

(1) *Op. cit.*, p. 55-56. Bernoulli n'était d'ailleurs pas de cet avis et trouvait, au contraire, « que celui des rayons simples (contenus dans un rayon composé) qui souffre le moins de réfraction et qui donne la couleur rouge, doit être chargé de corpuscules qui sont les plus petits ou les plus subtils de tous ceux qui sont mêlés dans l'éther, et que, par conséquent, les plus gros sont ceux qui entrent dans le rayon violet, lequel, s'écartant le plus de la direction du rayon incident, doit subir la plus grande réfraction en passant d'un milieu dans un autre de différente nature. » (Op. cit., p. 59). Nous voyons ici la relation établie par Bernoulli entre la grosseur des corpuscules

contraire à cette difficulté grâce à son système des fibres lumineuses et à « la loi du mouvement conspirant des vibrations synchrones par toute la longueur de la suite. » (1)

Enfin, son système lui paraissait avoir, dans l'explication du phénomène des anneaux colorés, décrit et étudié par Newton, une supériorité manifeste; « car, sans parler du vide qu'il suppose et de l'attraction qu'il attribue aux surfaces réfringentes, il paraîtra très dur de concevoir d'où peut venir au rayon de lumière cette certaine constitution ou disposition transitoire, qui, dans le progrès du rayon, revienne à intervalles égaux, d'où il déduit ensuite ce qu'il appelle les accès de facile réflexion, les accès de facile transmission et l'intervalle entre deux accès de même nom. » (2) Tandis que « ce sont les réciprocations très promptes des petits corpuscules, ou leurs excursions rapides en deçà et en delà de leur centre d'équilibre, dans lesquelles consistent les vibrations longitudinales des fibres lumineuses; ce sont, dis-je, ces réciprocations que l'on pourrait substituer à ces vicissitudes d'accès progressifs et régressifs fort difficiles à concevoir selon l'idée de M. Newton. » (3)

En résumé, si nous mettons de côté les expériences et l'idée que les couleurs sont primitives et dues à des différences de grosseur dans les corpuscules, nous pouvons dire que, sur l'ensemble des points, Jean Bernoulli, très attentif aux travaux de Newton, restait en dehors de l'influence directe du newtonianisme. Non seulement, en effet, il repoussait la théorie de l'émission sur le problème spécial de la propagation de la lumière, mais, derrière cette opposition à une idée déterminée, il y avait une répugnance invincible à substituer à des expli-

et la réfraction. Nous n'entrerons pas cependant dans de plus amples détails sur sa théorie de la réfraction, toute basée sur la différence de la force élastique de l'éther, selon les différents milieux ou matières transparentes.

(1) En effet, il estimait que la grosseur des corpuscules devait être égale, non seulement à l'intérieur de la fibre lumineuse principale, mais encore dans toutes les fibres secondaires constituées en partant d'elle.

(2) *Op. cit.*, p. 65.

(3) *Op. cit.*, p. 66.

cations tirées de la mécanique de l'impulsion, acceptée et soutenue par les disciples de Descartes, des hypothèses fondées sur l'existence postulée du vide et de l'attraction. En donnant le prix à un tel travail, l'Académie se retrouvait dans le sillage traditionnel d'un cartésianisme renouvelé.

67. — Les premières études concernant les phénomènes électriques, en faisant apparaître en pleine lumière certaines attractions, opérées, dans des conditions déterminées, par des corps assez variés, semblaient devoir être particulièrement favorables aux explications newtoniennes. Cependant les travaux poursuivis par du Fay, entre 1733 et 1737, portaient encore nettement l'empreinte cartésienne ; et, si Fontenelle, dans ses comptes-rendus, insistait spécialement sur la possibilité de tout expliquer par la mécanique cartésienne, il s'écartait moins de la pensée de l'auteur qu'il ne la développait, en en exploitant habilement, au profit du cartésianisme, les suggestions manifestes.

Du Fay, dans l'explication de la répulsion produite sur une feuille d'or par le tube électrique, après que l'attraction primitive aura amené la feuille en contact avec le tube, faisait remarquer : « Il est à observer que, par la distance à laquelle la feuille se tient éloignée du tube, on peut juger de l'étendue du tourbillon électrique et que, conduisant la feuille au-dessus de toutes les parties du tube, soit en le tournant sur son axe, soit en le mettant dans une situation verticale, on peut se former l'image des limites du tourbillon, ou plutôt celle de la couche du tourbillon qui a assez de force pour résister au poids de la feuille ; car, si l'on en prend de très petits fragments, on voit qu'ils se soutiennent à une beaucoup plus grande distance que les autres. » (1)

(1) Du Fay. — *Quatrième mémoire sur l'électricité*, in *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1733, p. 620. « Si le tube n'a qu'une vertu médiocre et qu'on se serve d'un duvet ou d'un morceau de coton, il arrive quelquefois qu'il ne les repousse pas, parce qu'ils s'y attachent par leurs petits filaments

Fontenelle, commentant ces résultats, concluait qu'« ici, le tourbillon se rend plus sensible que dans tout ce qui avait encore été dit. Le tube en avait un qui a enveloppé la feuille et l'a attirée ; mais, d'une partie de la matière de celui-là, il s'en est formé un nouveau autour de la feuille, puisqu'elle a certainement pris la vertu électrique ; et, ces deux tourbillons une fois formés, il est aisé de concevoir que, tendant tous deux à s'étendre en sens contraires, ils se sont arc-boutés l'un contre l'autre, ayant pour point d'appui commun le tube de verre, beaucoup moins mobile que la feuille d'or, et le tourbillon du tube plus puissant, comme il doit l'être, a repoussé celui de la feuille et a fait remonter la feuille à une hauteur proportionnée à sa supériorité de force. » (1)

Et si, en 1737, Fontenelle constatait encore avec satisfaction que « les tourbillons indiqués par l'attraction et la répulsion des corps électriques ou électrisés se confirment toujours » (2), son assurance ne manquait ni de vraisemblance, ni de fondement, puisque, cette année-là, Du Fay développait, beaucoup plus même que dans ses précédents mémoires, des explications

et que le tourbillon qu'il leur communique n'a point assez de force pour les faire détacher du tube. » (Op. cit., p. 621). L'idée du tourbillon électrique se retrouvait encore dans les mémoires postérieurs de Du Fay (notamment *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1734, p. 479 et p. 713 ; 1737, p. 135). Si l'on doit admettre que le terme tourbillon n'a pas ici, à proprement parler, la signification qui est la sienne dans le langage de Descartes ou de Malebranche et que ce qu'il désigne correspond plutôt à une sorte d'atmosphère qu'à un véritable tourbillon, il n'en reste pas moins que ce recours à des pressions pour expliquer des mouvements d'attraction ou de répulsion porte manifestement la marque d'un esprit cartésien.

(1) *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1733, p. 13. Pour expliquer l'attraction exercée par les corps rendus électriques, Fontenelle admettait, en effet, « qu'autour du corps devenu électrique, il se forme un tourbillon de matière très déliée et agitée, qui a la force de pousser vers ce corps des corps légers peu éloignés et compris dans sa sphère d'activité. Il y a plus que de la conjecture pour ce tourbillon. Si l'on s'approche du visage un corps rendu bien électrique, on sent un petit frémissement, comme si l'on était frappé d'une toile d'araignée. » (Op. cit., p. 7).

(2) *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1737, p. 4.

en ce sens : « Je finirai ce mémoire, précisait-il (1), par une observation que j'ai faite depuis longtemps, mais que j'ai eu occasion de remarquer dans ces dernières expériences plus précisément que je n'avais fait jusqu'alors ; c'est que, pour qu'un corps soit dans le cas d'être repoussé par un autre corps électrique, il ne suffit pas que le premier se trouve plongé dans le tourbillon électrique du second ; au contraire, ils sont alors poussés l'un vers l'autre, et s'attirent mutuellement ; par exemple, lorsque le gâteau de résine est électrique et que j'ai posé sur sa surface une boule d'ivoire ou de métal, si j'approche de cette boule un fil délié, elle l'attirera, quoiqu'il soit plongé dans le tourbillon électrique, parce que ce fil que je tiens à ma main ne prend point un tourbillon particulier et qu'il est enveloppé dans le même tourbillon que le gâteau et la boule; mais si ce fil est un peu long et qu'il porte à son extrémité inférieure une boule de liège, ou tout autre corps d'un volume plus considérable que lui, il se formera autour de cette boule ou de ce corps un petit tourbillon particulier, et alors il sera repoussé par celui de la boule d'ivoire. »

Si d'ailleurs les expériences de Du Fay prenaient une signification un peu différente dans les *Leçons de Physique* de Privat de Molières (2), l'explication tourbillonnaire y apparaissait plus nettement. Après avoir, en effet, posé la nécessité, pour rendre compte de toutes les observations, d'admettre la formation, autour d'un corps électrique, d'une espèce d'atmosphère, Privat de Molières précisait : « L'atmosphère qui se forme autour des corps qui deviennent électriques par le frottement étant lumineuse dans l'obscurité et prenant feu lorsqu'on en approche le doigt, on ne peut douter que les particules de cette atmosphère ne soient de véritables molécules d'huile, qui, étant sorties des pores du corps qu'on a frotté, se sont extrêmement étendues dans les pores de l'air, puisque ce n'est qu'aux molé-

(1) *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1737, p. 450.
(2) *Leçons de physique*, tome III, 1 vol. in-12, Paris, 1737.

cules de l'huile qu'on doit attribuer la vertu de s'enflammer. » (1)

Or ce recours à un principe chimique pour expliquer les phénomènes électriques, bien loin de constituer une dérogation au mécanisme, ne pouvait, au contraire, qu'y ramener, ou plutôt empêcher d'en sortir, puisque tout l'effort de Privat de Molières tendait à substituer aux définitions confuses et aux hypothèses compliquées des chimistes, encore trop préoccupés des apparences qualitatives, des déterminations essentiellement quantitatives et mécaniques, reposant toutes sur l'idée de la composition des divers corps à l'aide de petits tourbillons (2). L'huile (3) n'échappait pas aux conditions générales de cette chimie toute « physique », ainsi que l'auteur se plaisait à le faire remarquer.

Quant au mécanisme par lequel ces molécules d'huile arri-

(1) *Leçons de physique*, III, p. 431.

(2) « Car tous nos éléments se ressemblent, ils ne diffèrent entre eux que du petit au grand ; la structure des molécules de l'air que nous proposons est parfaitement semblable à celle des molécules de l'eau, de l'huile et du sel. Toutes ces molécules ne sont en général que des petits tourbillons, composés d'autres petits tourbillons, qui ont à leur centre un globule dur et pesant. Et toute la différence qu'il y a dans ces molécules est que celles de l'air sont incomparablement plus grandes que celles de l'eau ; celles de l'eau incomparablement plus grandes que celles de l'huile et du sel ; et que celles de l'huile ne diffèrent de celles du sel qu'en ce que les masses dures qu'elles entraînent par leurs mouvements circulaires sont beaucoup moins denses et moins pesantes que ne sont celles que les molécules de sel entraînent. » (Op. cit., p. 205-206).

(3) Elle n'était autre chose que « le sédiment formé des petits tourbillons du troisième ordre (qu'on nomme communément premier élément), devenus pesants et qui, s'étant détachés des tourbillons du premier et du second ordre, avaient formé un milieu à part beaucoup plus subtil que le précédent, et dont les molécules étaient des petits tourbillons du troisième ordre composés d'autres petits tourbillons d'un quatrième ordre, qui avaient chacun un globe pesant à leur centre et qui ne se balançaient pas ou ne faisaient pas équilibre avec les tourbillons ni du premier, ni du second ordre : mais seulement avec les petits tourbillons du troisième ordre ou du premier élément dont tout l'univers était rempli. » (Op. cit., p. 201-202). Nous ne tarderons pas à retrouver cette distinction entre les tourbillons des divers ordres.

vaient ainsi à constituer une atmosphère autour des corps électriques, « l'on peut penser, selon nos principes, continuait Privat de Molières, 1° que, tant que ces molécules d'huile sont contenues dans les pores du corps électrique, elles ne sont que des tourbillons incomparablement plus petits que ceux dont l'huile ordinaire est composée, lesquels font équilibre avec un milieu élastique de l'éther dont les tourbillons sont incomparablement plus petits que ceux du premier élément ; 2° que, par le frottement, ces petits tourbillons, ayant acquis un nouveau mouvement dans les pores du corps électrique, ont rompu cet équilibre et en sont sortis en s'agrandissant de plus en plus pour passer dans les pores de l'air, ou plutôt dans ceux du second élément, dont les tourbillons de l'air sont formés ; où elles ont acquis la grandeur convenable aux petits tourbillons de l'huile ordinaire, lesquels sont tout près de rompre l'équilibre avec ceux du premier élément, qui les retient dans leurs bornes, et dont quelques-uns, en petit nombre, rompant en effet cet équilibre, exciteront cette faible lumière que l'on voit dans l'obscurité. 3° Que les petits tourbillons contenus dans les pores du cors électrique et qui en sont sortis en vertu du frottement, ayant commencé à rompre l'équilibre avec le milieu élastique qui les retient, ceux qui prendront leur place dans le centre des pores de ce corps continueront à rompre ce même équilibre et à en sortir de la même façon que les premiers, et ainsi de suite, jusqu'à ce que l'humidité de l'air, ou quelque autre cause que ce puisse être, interrompe cette harmonie établie par le frottement. 4° Qu'à mesure que ces molécules d'huile très fines sortiront des pores du corps électrique, c'est une nécessité, à cause que tout est plein, qu'il y en entre d'autres qui voltigent dans l'air, pour remplir la place des précédentes. D'où il suit qu'un tuyau de verre rendu électrique par le frottement ne perdra pas pour cet effet la puissance de devenir une seconde fois électrique en le frottant de nouveau ; comme nous avons vu que l'eau dont on avait tiré l'air par l'exercice de la pompe ne doit pas laisser d'en fournir,

fort peu de temps après qu'on l'a exposée à l'air libre, une aussi grande quantité que la première fois, car c'est ici le même mécanisme. » (1)

S'agissait-il d'expliquer l'étincelle qui jaillit lorsqu'on approche le doigt à une certaine distance d'un corps électrisé, Privat de Molières faisait remarquer « que, lorsque ces molécules d'huile, qui sont tout près de rompre l'équilibre avec celles du premier élément et de s'enflammer, par conséquent, viendront à se mêler avec d'autres molécules plus grossières, telles que peuvent être celles de l'insensible transpiration qui sortent du bout du doigt qu'on approche du corps électrique, il n'est pas surprenant que ces deux matières extrêmement fluides contenues dans les pores de l'air venant à se mêler, y fermentent et qu'en conséquence elles prennent feu vers la superficie du corps frotté, où la matière électrique est en plus grande abondance ; ni que cette flamme se porte d'abord vers le doigt d'où sort la matière qui produit cette fermentation ; ni que cette flamme se répande ensuite dans toute l'atmosphère électrique, consume toutes les molécules de l'huile dont elle est formée et détruise en un instant toute cette atmosphère. » (2).

L'électrisation par communication ne paraissait guère plus difficile à expliquer, en admettant « que, lorsque l'atmosphère

(1) *Leçons de physique*, III, p. 431-434. Privat de Molières prévoyait bien l'objection que l'on pouvait tirer de l'existence de corps non susceptibles d'être électrisés par frottement. Mais il pensait « que, quoique l'or et les autres métaux n'acquièrent pas la vertu électrique par le simple frottement, ce n'est pas à dire pour cela que ces corps ne contiennent dans leurs pores aucune de ces molécules d'huile très fines ; mais que c'est plutôt qu'elles y sont en très grand nombre et que la quantité de mouvement que l'on peut leur communiquer par le frottement, se distribuant par égale part à toutes ces molécules, il n'en reste pas assez à chacune pour rompre l'équilibre avec le milieu élastique qui les contient dans leur état et dans leurs bornes ; ce qui est cause qu'on n'a pu encore parvenir à rendre les métaux électriques par le frottement ; et que la plupart des autres corps ne peuvent le devenir par ce moyen, à moins qu'on ne les chauffe et que, par la chaleur du feu, ces molécules de l'huile ayant commencé à s'étendre et à se raréfier, le frottement n'achève de les développer entièrement. » (Op. cit., p. 435 et 436).

(2) Op. cit., p. 434-435.

d'un tuyau de verre, ou d'un autre corps devenu électrique par le frottement, se répand sur la superficie d'un morceau d'or, par exemple, il doit arriver la même chose sur cette superficie qu'il arrive sur celle de l'esprit-de-vin, lorsqu'on en approche la flamme d'une bougie. Les molécules de cette huile, très fines, dont nous avons parlé, contenues dans les pores de ce métal, et qui sont les plus voisines de sa superficie, doivent aussitôt s'étendre et passer dans les pores de l'air, communiquer leurs mouvements à celles qui les suivent et former autour de ce corps une atmosphère semblable à celle qui est autour du tuyau de verre. Par ce moyen, ce corps, qui ne pouvait pas devenir électrique par le frottement, le devient incontinent par la communication. » (1)

Enfin, Privat de Molières ne pensait pas avoir besoin d'autre chose que de ces petits tourbillons pour expliquer les phénomènes observés, lorsque, après avoir rendu électrique un globe de verre, on en approche de petites particules de feuilles d'or et on constate des mouvements de ces petites particules. Et « bien loin qu'on doive être porté à croire que ce mouvement ne puisse s'exécuter autrement que par la supposition d'un principe d'*attraction* et de *répulsion* indépendante de l'impulsion, on ne doit pas même être beaucoup surpris de cet effet. » (2) Tout dépend alors de la considération de la densité diverse des couches de l'atmosphère électrique formée autour du globe par frottement.

Bien que Privat de Molières n'ait pas pris la peine de remonter jusqu'aux grands tourbillons, pour en tirer, sur ce point, les propriétés des petits, Fontenelle trouva opportun de « soutenir jusqu'au bout une analogie si heureuse », en entreprenant de faire « voir combien il serait possible que l'électricité se trouvât dans les tourbillons célestes. » (3)

(1) *Op. cit.*, p. 436-437.
(2) *Leçons de physique*, III, p. 438.
(3) *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1737, p. 58.

Partant des explications de Cassini sur le retard apporté à la vitesse de rotation des corps célestes par l'existence de leurs atmosphères (§ 64), il pensait pouvoir retrouver en grand, dans les variations de distances alors supposées entre les astres, en corrélation avec les différences survenues dans leurs atmosphères, une image de ces attractions ou répulsions exercées sur un corps léger non électrisé par un tube de verre électrisé (c'est-à-dire auquel on a donné une atmosphère formée d'une infinité de petits tourbillons qu'on a fait sortir de leurs pores). Après avoir spécialement insisté sur la distinction à faire entre tourbillon et atmosphère (1), il proposait : « Supposons le soleil sans atmosphère, sa rotation sera donc de moins de 25 jours et sa vitesse étant plus grande, il en imprimera une plus grande à tout son tourbillon. Mais, s'il vient à avoir une atmosphère, voilà sa vitesse, et celle de tout le tourbillon, diminuée; les planètes, qui se tenaient chacune à une certaine distance de lui, en vertu de leurs forces centrifuges, ne pourront plus se tenir à de si grandes distances, puisque, leurs vitesses étant diminuées, leurs forces centrifuges le seront aussi... Les planètes se rapprocheront donc du soleil par la seule raison qu'il aura acquis une atmosphère et il paraîtra les avoir attirées.

« Si une planète descendait jusque dans l'atmosphère du soleil ; si, de plus, il arrivait qu'une partie de la matière de cette atmosphère vînt à en former une autour de cette planète, elle deviendrait par là un plus grand corps, elle aurait donc de ce chef une plus grande force centrifuge et, par conséquent, elle ne pourrait plus demeurer en équilibre aussi près

(1) « Il faut se bien souvenir que, quoique le mot de tourbillon se puisse quelquefois prendre sans erreur pour celui d'atmosphère, ils sont ici très différents. Le tourbillon est un fluide dont toutes les couches sphériques circulent autour du même centre en des temps inégaux, et l'atmosphère est un fluide attaché en quelque sorte à un corps central solide, et dont toutes les couches ne circulent que toutes ensemble, et dans le même temps que ce corps, si elles circulent. » (Op. cit. p. 59).

du soleil, elle monterait, et le soleil, après l'avoir attirée, paraîtrait la repousser. » (1)

Tout l'exposé de ce mécanisme est particulièrement caractéristique des efforts et de l'ingéniosité déployés par les partisans des tourbillons, pour arracher aux disciples de Newton les phénomènes les plus propres à se plier à une explication par l'attraction.

68. — Mais, tandis que des explications cartésiennes se superposaient ainsi à des expériences plutôt de nature à confirmer les vues de Newton, l'influence newtonienne s'enrichissait d'un nouveau travail, le *Recueil de différents traités de physique* (2), où Deslandes, disciple de Musschenbroek, se déclarait, ainsi que celui-ci, et en accord avec les idées de 'sGravesande (3), en faveur du newtonianisme.

Non seulement l'Avertissement, ou *Discours sur la meilleure manière de faire des expériences*, faisait, à travers Musschenbroek, des emprunts importants aux idées de Newton, mais l'auteur y prenait encore nettement position dans le débat entre cartésiens et newtoniens.

« L'opinion cartésienne qu'il n'y a point de vide et que, s'il y en avait, tout le mécanisme de la nature cesserait et ne pour-

(1) *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1737, p. 59-60. « On voit bien qu'afin que la planète attirée d'abord par le soleil en soit ensuite repoussée, il faut qu'elle n'ait pris son atmosphère qu'après être entrée dans celle du soleil, et même que l'augmentation de grandeur qui lui survient par son atmosphère soit à un certain point, car, au dessous de ce point, la planète serait toujours attirée, quoique moins, et ne serait point repoussée. De là il suit que, si une planète n'entrait dans l'atmosphère du soleil que toute revêtue déjà d'une atmosphère particulière, elle en serait attirée et non ensuite repoussée, si son atmosphère n'était que d'une certaine petitesse, ou, au contraire, toujours repoussée et jamais attirée, si l'atmosphère était plus grande. » (*Op. cit.*, p. 60).

(2) 1 vol. in-8, Paris, 1736.

(3) L'influence de ces deux physiciens hollandais, disciples de Newton, commençait à se faire sentir de plus en plus en France. Voir, sur cette question, notre ouvrage sur *Les Physiciens hollandais et la méthode expérimentale en France au* XVIIIe *siècle*. 1 vol. in-8, Paris, Blanchard 1926.

rait point s'exécuter ; cette opinion, dis-je, a dérangé bien des expériences en les laissant porter à faux. Les uns se sont imaginé que les corps qui ont du ressort le perdent tout à fait dans le vide et autant les corps à ressort parfait que ceux qui, par leur propriété naturelle, se compriment et se dilatent alternativement. Mais le contraire a été depuis si bien prouvé qu'il n'est plus désormais besoin de recourir à je ne sais quelle matière subtile pour expliquer les effets du ressort, la force attractive dont les corps sont doués, et cela à proportion de la matière réelle qu'ils contiennent, étant plus que suffisante pour expliquer ces effets. » (1)

Or cet ouvrage fut accueilli avec faveur par les uns; et les cartésiens mêmes, à part quelques exceptions, y portèrent un intérêt qui n'était pas exempt de quelque approbation.

« Un cartésien aussi zélé que M. Legendre de Saint-Aubin, lisons-nous dans les *Observations sur les écrits modernes*, ne lui pardonnera pas de s'être déclaré pour le vide et pour l'attraction newtonienne, que cet auteur méprise avec raison autant que les qualités occultes du péripatétisme. Cependant, mettra-t-on pour cela M. Deslandes au nombre de ces beaux esprits qui, pour se donner du relief, adoptent fastueusement des opinions ténébreuses ? Il tire de son propre fond des raisons pour justifier ce qu'il avance. C'est aux philosophes de les apprécier. »

69. — Nous avons vu déjà (§ 55, 56 et 57) quel était le sens général des explications dans le premier volume des *Leçons de physique* de Privat de Molières; le second (2) ne nous permet pas de constater des modifications importantes dans les idées fondamentales de ce physicien. L'ouvrage s'ouvrait sur des considérations essentiellement cartésiennes, concernant le système du plein : « Qu'on ne suive pas servilement et de point

(1) *Op. cit.*, p. 43-44.

(2) PRIVAT DE MOLIÈRES, *Leçons de physique*, tome second, 1 vol. in-12, Paris, 1736.

en point le système de Descartes, il n'y a rien là qui ne soit raisonnable ; Descartes ne pouvait pas tout prévoir ; mais ses vues générales sont si solides qu'on ne peut les négliger. Qu'on ne s'attache scrupuleusement à aucun système, je le veux : mais il ne s'ensuit pas de là que l'on puisse se passer d'un principe général auquel on doive rapporter toutes les expériences. Sans cela, on aura beau faire, on sera toujours la dupe de l'imagination qui ne manque jamais d'ajouter subtilement, et sans qu'on s'en aperçoive, quelque chose du sien à ce que l'expérience prise avec le plus de précaution nous dit de l'effet que nous considérons.

« Le principe qu'il faut toujours avoir en vue et qui doit servir comme de pierre de touche pour connaître si nous ne nous méprenons pas dans les circonstances de l'effet que nous observons, est de rapporter cet effet aux lois des mécaniques. Et c'est en suivant ce principe que Descartes s'est déterminé pour le système du plein et qu'il a rempli l'univers de grands tourbillons. » (1)

Mais, au lieu de se contenter de remplir ses grands tourbillons de matière de différentes sortes, Descartes eût, de l'avis de Privat de Molières, atteint des conclusions beaucoup plus fécondes, s'il eût généralisé l'idée du tourbillon. « C'est donc maintenant une nécessité, ajoutait-il (2), de pousser plus loin les premières vues de Descartes et de transporter l'idée de ses tourbillons aux moindres parties de la matière. Car, s'il est vrai que le mouvement circulaire et en tourbillon soit perpétuel, il n'en coûte pas plus de réduire toute la matière en de très petits tourbillons avant que de la distribuer en de très grands, que de penser qu'elle n'a d'abord été distribuée qu'en ces grands tourbillons ; et, si l'expérience de plusieurs siècles a appris que la vitesse des planètes entraînées par ces grands tourbillons n'a pas diminué, et que ce soit là une preuve d'ex-

(1) *Op. cit.*, p. 2, 3 et 4.
(2) *Op. cit.*, p. 7.

périence que le mouvement du tourbillon est perpétuel, il est clair que ce même mouvement sera également perpétuel dans les petits tourbillons, comme il l'est dans les grands. »

Ce n'était pas encore assez, d'ailleurs, pour Privat de Molières, de rejoindre ainsi, à travers celle de Descartes, la physique de Malebranche (1) ; il voulait encore aller plus loin. « Je n'ai pas fait difficulté, nous apprend-il lui-même (2), plutôt que d'avoir recours, dans l'explication des phénomènes de la nature, à de nouveaux principes purement métaphysiques, de subdiviser les petits tourbillons du P. Malebranche en tourbillons encore plus petits, et ainsi de suite : ne mettant d'autres bornes à ces subdivisions que celles que l'inutilité de les porter plus loin le prescrit. Et de cette idée simple, qui n'est au fond qu'une suite très immédiate du système cartésien, et que le mouvement perpétuel, que nous éprouvons dans les moindres parties de la matière, nous indique suffisamment ; j'en ai déjà déduit un grand nombre de propriétés qui répondent parfaitement aux phénomènes les plus généraux de la nature. De sorte que j'espère que la suite de ces propositions fera voir qu'il ne sera plus dorénavant nécessaire de chercher ailleurs d'autres secours, pour acquérir l'intelligence des effets de la nature les plus détaillés et que la multitude des hypothèses de nos physiciens ne nous a pu procurer. »

On conçoit comment, n'admettant à la multiplication des tourbillons d'autres bornes que l'inutilité de pousser plus loin, Privat de Molières pouvait poser l'existence de trois sortes de tourbillons : « Nous avons nommé, précisait-il lui-même (3), tourbillons du second élément, ceux que nous avons substitués

(1) « On a souvent dit que la nature se cache, mais l'expérience nous a appris qu'elle se manifeste quelquefois. Pour moi, je pense qu'elle s'est dévoilée dans le système général des planètes, qui n'est qu'un tourbillon développé, mieux que partout ailleurs ; et qu'il n'y a qu'à réduire en petit ce que nous y voyons en grand, pour pénétrer dans ses mystères les plus profonds. » (Op. cit. p. 28).

(2) *Op. cit.*, p. 66.

(3) *Op. cit.*, p. 54.

avec le P. Malebranche, aux globules durs du second élément de Descartes ; tourbillons du premier élément, ceux dont nous avons conçu que les tourbillons du second élément devaient être formés. Et nous nommons ici tourbillons du troisième élément ceux... que nous allons démontrer devoir être formés de tourbillons du second élément. »

Il s'empressait d'ailleurs d'ajouter, pour donner une idée de cette sorte d'interpénétration des tourbillons : « Les trois éléments que nous venons de considérer peuvent former dans un même espace trois milieux différents qui rempliront chacun le même espace, sans s'exclure l'un l'autre, sans se confondre, ni se nuire dans aucune de leurs fonctions. Et dont l'élasticité du premier sera incomparablement plus forte que celle du second ; et l'élasticité du second plus forte que celle du troisième. » (1)

Reprenant ensuite une des plus graves objections faites à l'explication tourbillonnaire des mouvements planétaires. Privat de Molières prétendait trouver, dans la facilité même avec laquelle il réussissait à résoudre le problème, une preuve nouvelle et particulièrement convaincante de la solidité de ses principes. On remarquait, en effet, que la terre et les couches de son tourbillon avoisinant sa surface circulent beaucoup moins vite qu'elles ne devraient le faire selon la règle de Képler sur le rapport des vitesses. En partant de la durée de révolution de la lune, on tirait, à titre de conséquence, en appliquant la règle de Képler, que la terre devrait faire sa rotation en moins d'une heure et demie, c'est-à-dire environ dix-sept fois plus vite qu'elle ne la fait en réalité.

Cependant cette anomalie apparente, qui semble rompre l'équilibre des couches du grand tourbillon, s'impose, au contraire comme une nécessité, « si l'on considère que, dans le grand tourbillon d'une planète, c'est principalement à l'équilibre de la force centrifuge des petits tourbillons de l'éther,

(1) *Op. cit.*, p. 57.

ou du second élément, auquel il faut avoir égard ; à cause que ce sont ces petits tourbillons qui le remplissent entièrement, et que les tourbilloos du troisième élément, en étant eux-mêmes formés, n'occupent que la moindre partie de ce grand tourbillon. » (1) En effet, dans de telles conditions, étant donné d'autre part que les petits tourbillons de l'éther, parce qu'ils forment ceux du troisième élément, doivent circuler, non seulement autour du centre de la terre, mais autour des centres de ces petits tourbillons du troisième élément, il y aurait rupture d'équilibre, si la vitesse de révolution des petits tourbillons de l'éther autour du centre de la terre leur donnait déjà toute la force centrifuge requise pour l'équilibre. Il faut donc que la vitesse exigée par la règle de Képler se partage et que les petits tourbillons de l'éther emploient une partie de cette vitesse à circuler autour des centres des petits tourbillons du troisième élément.

« L'équilibre, où les couches sphériques d'un tourbillon doivent nécessairement arriver, sera donc cause que les couches sphériques composées des petits tourbillons du troisième élément, voisines de la superficie de la terre, et par conséquent la terre, emploieront beaucoup plus de temps à faire leurs révolutions, savoir 24 heures ou 48 demi-heures, au lieu qu'elles n'y auraient employé qu'environ trois demi-heures, si les tourbillons de l'éther avaient circulé tout simplement autour du centre de la terre et n'avaient pas en même temps circulé autour des petits globules du troisième élément. » (2)

Mais cette vitesse de circulation dix-sept fois supérieure à la vitesse réelle n'est-elle pas exigée, sinon par l'équilibre des couches, au moins par la loi de la pesanteur, lorsqu'on suppose cet effet produit, conformément à l'explication cartésienne, par une action des tourbillons ? La difficulté ne serait réelle que si Privat de Molières prétendait maintenir la théorie de Descartes

(1) *Op. cit.*, p. 80-81.
(2) *Op. cit.*, p. 83.

même; mais nous avons vu (§ 56) que, dans le premier volume de ses *Leçons de Physique*, il avait déjà rectifié cette explication, attribuant la pesanteur, non pas immédiatement au mouvement circulaire des points du tourbillon autour du centre commun, mais à l'élasticité des parties de ce tourbillon.

Aucun inconvénient, dès lors, à ce que les couches sphériques voisines de la superficie de la terre n'achèvent pas leurs circulations aussi promptement que l'exige la règle de Képler, parce que ce qui se trouve ralenti alors, ce ne sont que les centres des tourbillons du troisième élément et « que cette lenteur des centres des tourbillons du troisième élément n'empêche pas que les tourbillons de l'éther, dont l'élasticité est la cause de la pesanteur, n'aient réellement toute la force élastique qu'ils auraient eue en achevant leur circulation autour du centre de la terre en une heure et demie ; puisque, s'ils ne l'achèvent qu'en vingt-quatre heures, cela ne vient que de ce qu'ils emploient une partie de cette vitesse à circuler autour des globules du troisième élément. » (1)

Privat de Molières se félicitait même de trouver là une confirmation de sa théorie, en faisant remarquer : « Cette nouvelle épreuve de nos principes confirme de plus en plus leur réalité ; car c'était encore ici une de ces grandes difficultés à résoudre dans le système des tourbillons, dans lesquels on voit que la loi de la pesanteur y sera constamment conservée, par les simples lois des mécaniques, avec autant de précision que si on la supposait gratuitement dans l'univers, comme un principe émané de la volonté immédiate du Créateur, principe indépendant du mécanisme et accompagné du vide. » (2).

Cette allusion critique à l'attraction annonçait une opposition plus nette encore, ou au moins plus explicite, à la théorie newtonienne. « On voit par ce que nous venons de dire, résumait l'auteur dans la conclusion de sa Leçon VI, qu'il n'est nullement nécessaire de sortir du mécanisme pour expliquer

(1) *Op. cit.*, p. 88.
(2) *Op. cit.*, p. 89.

distinctement, et par les seules lois de l'impulsion, tous ces mouvements réciproques auxquels on a donné le nom d'attraction ; ni, parce que nos yeux ne sont pas assez perçants pour voir les petits corps qui choquent ceux que nous voyons s'approcher les uns des autres, d'imaginer aussitôt une cause métaphysique qui réponde à cet effet. A la bonne heure, que nous appelions *attraction* un mouvement dont le choc qui le produit est insensible ; mais de prétendre que l'on connaisse cet effet parce qu'on a prononcé ce mot, c'est une illusion manifeste. Car un mot, un simple mot, énergique tant qu'on voudra, ne peut jamais être mis au rang des causes. » (1)

« Ce n'a pas non plus été là, tenait d'ailleurs à préciser Privat de Molières (2), le dessein de M. Newton, quand il a parlé de l'attraction, de la répulsion et du vide, puisqu'il nous avertit expressément et avec grande raison de ne pas donner dans cet écueil : *Voces autem*, dit-il dans ses « Principes », p. 5, *attractionis, impulsus, vel propensionis cujuscumque in centrum, indifferenter et pro se mutuo promiscue usurpo ; has vires* non physice sed mathematice *tantum considerando. Unde*, ajoute-t-il tout de suite, *caveat lector, ne per hujusmodi voces cogitet me speciem vel modum actionis causamve aut* rationem physicam *alicubi definire, vel centris (quae sunt puncta mathematica) vires* vere et physice *tribuere ; si forte aut centra trahere aut vires centrorum esse dixero.*

« Les découvertes qu'ont fait et que peuvent faire les mathématiciens à l'aide de ces suppositions géométriques, ne sont

(1) *Op. cit.*, p. 98. En d'autres termes, tant qu'on ne veut voir dans ces principes que des « suppositions purement géométriques », il ne peut y avoir aucun inconvénient. Le danger apparaît lorsqu'on prétend en faire des « effets réels ». Alors « ce serait trop visiblement remplir de nouveau le monde d'une infinité de je ne sais quoi, d'êtres de raison, d'êtres métaphysiques, de vertus abstraites, dont nous nous sommes heureusement désabusés depuis plusieurs années, et auxquelles il n'y a pas d'apparence que des physiciens tant soit peu raisonnables puissent jamais sérieusement recourir. » (Op. cit. p. 150-151).

(2) Op. cit. p. 151.

donc visiblement, pour ainsi dire, que des pierres d'attente pour la physique, et dont on pourra faire un bon usage, lorsqu'on aura déterminé la cause mécanique qui fournira les forces métaphysiques que les géomètres ont supposées, auxquelles on pourra aisément la substituer. Après quoi, tout ce qu'ils en auront déduit subsistera dans la physique. »

Derrière cette interprétation, très judicieuse certes et très exacte, de la véritable pensée de Newton, se dissimulait mal le désir de faire du mécanisme cartésien la seule base solide de toutes les connaissances scientifiques (1). Après avoir rappelé plus loin, en quelques mots, l'essentiel de ce mécanisme géométrique proposé par Descartes, Privat de Molières ne cachait pas, en effet, son enthousiasme : « C'est là proprement, disait-il (2), le fond du système cartésien, que l'expérience n'a pas détruit et ne détruira jamais, lorsqu'on la consultera comme il faut ; mais qui a porté et portera sans cesse la lumière dans toutes les parties de la philosophie, dans la métaphysique, dans l'anatomie, dans l'astronomie, dans la morale : c'est en suivant ce principe que le P. Malebranche, M. Huygens et tous ceux qui, après Descartes, ont bien mérité de la philosophie, et qui n'ont pas lu ces ouvrages comme on lit un roman, ont fait des progrès considérables dans la physique. C'est là le système que ces

(1) C'est bien ainsi que les contemporains interprétaient cette physique. « un des plus beaux ouvrages que le cartésianisme ait produits », dans lequel l'auteur, tout en adoptant le système des tourbillons, « ne s'y attache pas si scrupuleusement qu'il ne retranche des propositions comme inutiles et qu'il ne restifie ce qui lui a paru contraire aux principes et à l'expérience. D'un autre côté, il a profité des découvertes du célèbre Newton, non seulement pour éclaircir ou corriger en quelques points le système de Descartes, mais encore pour établir des principes, qui lui servent à combattre Newton même et à expliquer mécaniquement des effets dont ce philosophe s'est imaginé qu'on chercherait inutilement la cause. M. l'abbé de M... va plus loin encore ; dans cette suite de propositions inférées les unes des autres, il renferme les principaux dogmes de Descartes et de Newton, il les éclaircit et les lie si bien les uns aux autres que l'on pourrait croire que ces deux grands philosophes auraient tendu au même but. » (*Observations sur les écrits modernes*, XIII, p. 267.)

(2) *Op. cit.*, p. 305.

grands hommes ont perfectionné dans ses conséquences par un grand nombre d'expériences dont Descartes a reconnu la nécessité, mais qu'il n'a pu exécuter, parce que c'était l'ouvrage du temps. C'est là, enfin, le seul et unique système dont l'Académie a fait le plus d'usage et qui doit nous guider dans les conséquences que nous tirons de nos observations, et sans le secours duquel nous cesserions bientôt de faire des expériences utiles au progrès de la physique. » (1) La formule même de cette crainte nous engage à penser qu'elle ne pouvait guère être considérée alors comme tout à fait illusoire ; et ne faut-il pas voir un aveu mal déguisé de la défaite du cartésianisme dans la constatation de l'usage important de ce système dans le passé ? Privat de Molières n'aurait-il pas mis le présent, « l'Académie *fait* le plus d'usage », s'il n'avait pas déjà senti, au sein même de cette Académie, l'affaiblissement graduel du parti cartésien ?

Mais, si les partisans de Descartes y étaient de moins en moins nombreux, leur activité restait inlassable. Fontenelle notamment, dans son ardeur à défendre le cartésianisme, saisit l'occasion qui lui était ainsi offerte d'insister de nouveau sur ces différents points. Il loua de nouveau la façon ingénieuse dont Privat de Molières avait, pour ainsi dire, corrigé le cartésianisme en empruntant à Malebranche sa théorie des petits tourbillons : « On voit bien d'abord que ces tourbillons en nombre infini, agités d'un mouvement inaltérable, que la force centrifuge et l'élasticité renouvellent toujours dans le besoin, lui fournissent un fond inépuisable pour tout ce qui peut arriver de plus violent et de plus subit ; il ne sera jamais nécessaire de recourir à de nouvelles sources de

(1) « J'avoue qu'on n'est pas tout d'un coup parvenu à la perfection, et que le détail du système de Descartes renferme des défauts que M. Newton a très bien relevés, en quoi il a rendu un grand service à la physique ; mais ces défauts ne doivent pas nous porter à abandonner ce système ; ils doivent nous exciter au contraire à le perfectionner de plus en plus. » (*Op. cit.*, p. 310-311).

mouvements que la mécanique ne connaît point, et que la raison ne peut adopter. » (1)

70. — Mêmes réflexions de Fontenelle lorsque, l'année suivante, il analysa le troisième tome des *Leçons de physique*, nouvellement paru. L'importance et la fécondité de la théorie tourbillonnaire y étaient encore mises au premier plan. « Dans le système des grands et des petits tourbillons, on a un fond presque infini de mouvement qui est comme en réserve, qui ne s'exerce point et qui n'attend que des occasions pour se manifester. Tout se meut dans l'univers, mais tout y garde sa place », au moins tant qu'est réalisée cette sorte de suspension de forces qu'est l'équilibre. A propos de cette idée de l'équilibre « on peut remarquer, en passant, qu'elle demande absolument le plein, mais elle est elle-même une espèce de preuve du plein, tant elle a d'avantage sur celle d'un univers qui ne serait presque qu'un grand vide sans liaison, sans dépendance mutuelle de ses parties, à moins qu'elles n'eussent le don miraculeux de l'attraction. » (2)

S'agit-il d'expliquer les principaux phénomènes de la chimie, les effervescences, les précipitations, les sublimations, les transformations: sans qu'il soit nécessaire de postuler des dards, des pointes et autres notions forgées pour le besoin, il suffit d'une rupture dans l'équilibre des petits tourbillons pour qu'apparaissent ces phénomènes, de même qu'apparaîtrait une foule de phénomènes, si l'équilibre entre les grands tourbillons se trouvait rompu. Fontenelle se plaisait à cette analogie qu'il trouvait « si heureuse » et qu'il voulait, dépassant Privat de Molières, « soutenir jusqu'au bout », en expliquant par elle l'électricité, pour laquelle l'auteur des *Leçons*

(1) *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1736, p. 74. Non seulement Fontenelle donnait un compte-rendu du second volume des *Leçons de physique*, mais il insistait, en résumant encore, pour la seconde fois, les idées principales du premier.

(2) *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1737, p. 52.

de physique n'avait pas cru nécessaire de remonter de l'idée des petits tourbillons jusqu'à celle des grands.

Nous avons déjà vu (§ 67) ces explications plus ou moins cartésiennes de l'électricité ; notons seulement ici la nouveauté qu'il y avait à prétendre aussi expliquer toutes les opérations chimiques par les petits tourbillons. Privat de Molières s'en rendait si bien compte qu'il éprouvait le désir de s'en expliquer. « On ne manquera pas sans doute de dire ici que la description que je viens de faire des causes des effets précédents, n'est au fond qu'un beau roman. Eh bien, qu'on compare au moins ce roman prétendu avec les merveilleuses histoires qu'on nous a jusqu'à présent débitées sur le même sujet ; lesquelles n'ont pas laissé que de beaucoup contribuer au progrès de la chimie ; et qu'on juge qui de nous est celui qui a puisé dans les meilleures sources. Je ne m'attends pas, au reste, que les chimistes qui ont vieilli dans leurs anciennes idées me soient beaucoup favorables ; ils sont trop préoccupés de leurs pointes, de leurs gaines, de leur attraction, répulsion, mouvements confus, etc., pour pouvoir espérer qu'ils s'en détachent. Ils en ont fait un trop grand usage dans leurs livres pour espérer qu'ils les abandonnent. Mais c'est à la postérité que j'en appelle ; c'est elle principalement que j'ai en vue, c'est elle uniquement que je veux tâcher d'instruire. A l'égard des autres, ils comptent d'en savoir trop, pour faire cas des lumières que je m'efforce de répandre dans la physique, en ne suivant que les principes les plus simples, en n'employant uniquement, dans l'explication des effets de la nature, que la matière toute nue et le mouvement réglé et conduit sans interruption par les principes des mécaniques.

« D'autres diront sans doute qu'il y a encore trop d'arbitraire dans mon système, et que j'ai supposé à la vue des expériences des effets mécaniques, qui n'ont pas une liaison absolument nécessaire avec les principes que j'ai d'abord posés dans mon premier volume. J'en conviens ; car je ne

22

présume pas qu'il soit tout à fait possible de traiter la physique comme Euclide a traité la géométrie. C'est un ouvrage tout formé que nous considérons, et les effets qui s'offrent à nos sens sont souvent si éloignés des principes que, pour en découvrir la cause, on est contraint de pratiquer la méthode que les géomètres emploient dans la résolution des problèmes composés. Or n'est-il pas évident que les constructions qu'ils font pour les résoudre, les lignes qu'ils tirent, les figures qu'ils forment ne sont pas tout à fait exemptes de cet arbitraire qu'on me reproche ; puisque d'autres géomètres résolvent les mêmes problèmes en se servant d'autres constructions. » (1)

71. — Pourtant, au milieu de toutes ces résistances, les théories de Newton continuaient à faire sentir leur influence. Au sein même de l'Académie des Sciences, Dortous de Mairan, qui, déjà en 1719, à l'occasion de son rapport sur la seconde édition latine de l'*Optique* de Newton, avait émis une théorie acoustique, imitée de la théorie newtonienne de la lumière, revint, en 1737, sur la question, et signala, dès le début de son mémoire, la similitude des deux explications : « Je pense, dit-il (2), qu'on voit déjà assez combien le système de M. New-

(1) *Leçons de physique*, tome III, p. 282-285. Nous n'estimons pas devoir accorder ici une place de quelque importance aux discussions engagées entre Privat de Molières et Banière (*Traité de la lumière et des couleurs*, 1 vol., Paris, 1737). Il s'agissait entre eux de savoir s'il existait des petits tourbillons ; mais, si Privat de Molières paraissait bien admettre que, ceux-ci une fois reconnus inexistants, il n'y aurait plus possibilité de maintenir la réalité des grands, les objections de Banière ne prenaient pas, dans son esprit, de telles proportions, et le cartésianisme était mis en dehors et au-dessus de ses critiques. Il n'y avait donc là qu'une phase nouvelle de l'opposition, que nous avons déjà eu, à plusieurs reprises, l'occasion de signaler, entre disciples de Descartes et disciples de Malebranche. Mais, alors même qu'ils se séparaient ainsi, sur quelques points, les uns et les autres se retrouvaient d'accord pour refuser d'accepter les grands principes des explications newtoniennes.

(2) *Discours sur la propagation du son dans les différents tons qui le modifient* in *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1737, p. 4.

ton sur la lumière et l'hypothèse que je viens d'énoncer sur la propagation du son se ressemblent. D'un côté, autant d'espèces de corpuscules lumineux de différente refrangibilité que de couleurs ; de l'autre, autant de particules sonores d'air de différente élasticité que de tons : là le mélange de tous les corpuscules lumineux et colorés produit la lumière, ici le frémissement de toutes les particules sonores et toniques forment le bruit. C'est aussi par cette comparaison, ou, comme je ferai gloire de le dire, par cette imitation du système de M. Newton que M. de Fontenelle indiqua celui-ci dans le volume de l'Académie de 1720. J'en écrivis peu de temps après à M. Newton même. »

Ce n'est pas à dire que Dortous de Mairan ne restât cartésien ; mais ce fait est significatif de la façon dont la plupart des partisans de Descartes devenaient « mitigés », suivant l'expression à laquelle nous faisions allusion plus haut : preuve indiscutable de la pénétration lente encore, mais profonde déjà du newtonianisme, même parmi ceux qui se trouvaient les moins préparés à en subir l'empreinte.

La même année que le mémoire de Dortous de Mairan, parut la *Génération harmonique ou Traité de musique théorique et pratique* de Rameau. « Nous devons supposer, disait celui-ci, l'air divisé en une infinité de particules, dont chacune est capable d'un ton particulier. Lorsque, par exemple, on entend à la fois les deux sons de la quinte, dont l'un fait deux vibrations pendant que l'autre en fait trois, on ne conçoit pas comment la même masse d'air peut fournir dans un même temps ce différent nombre de vibrations ; à plus forte raison encore s'il se trouve un plus grand nombre de sons ensemble : au lieu qu'il est bien plus plausible d'imaginer en ce cas que chacun de ces sons naît d'une masse d'air particulière, dont le nombre des vibrations renferme le degré du ton qui nous affecte pour lors. »

Il est facile de retrouver là encore la même inspiration newtonienne prolongée dans un raisonnement par analogie.

Et tout cela ne manquait pas d'inquiéter fort les cartésiens, dans les rangs desquels la mort venait encore créer des vides désormais difficilement réparables. Aussi, dans son *Eloge de Saurin*, Fontenelle laissait-il apercevoir ses craintes, même derrière ses affirmations de confiance. Lorsqu'il louait son collègue défunt de sa conviction dans la défense des tourbillons, il ajoutait des réflexions qui laissaient transparaître quelque lassitude en face de la charge qui se faisait pour lui de plus en plus écrasante, à mesure que disparaissaient ceux qui l'aidaient à l'assumer. « Eût-on cru qu'il fallût jamais prier le ciel de préserver des Français d'une prévention trop favorable pour un système incompréhensible, eux qui aiment tant la clarté, et pour un système né en pays étranger, eux qu'on accuse tant de ne goûter que ce qui leur appartient ? » (1).

Et, après avoir rappelé que, malgré tout son désir de voir triompher le système des tourbillons, Saurin poussait la bonne foi jusqu'à apporter lui-même des difficultés contre cette explication, Fontenelle, considérant, dans un mouvement plus large de pensée, l'ensemble des objections et des réponses proposées, poursuivait : « Tout commence à s'éclaircir et il est permis de croire que l'univers cartésien, violemment ébranlé et étrangement défiguré, se raffermira et reprendra sa forme. » Mais on ne peut guère dissimuler qu'il y avait là des souhaits bien plus que des constatations. Cela est vrai surtout si l'on veut voir dans le présent, à côté des élements plus statiques, en quelque sorte, les éléments dynamiques et vivants qu'y mettent les tendances avec leur force d'expansion.

C'est par une telle distinction entre le point de vue statique, plus exclusivement curieux des résultats actuels, et le point de vue dynamique, plus soucieux d'une reconstitution exacte par la considération des germes féconds, que nous

(1) *Eloge de Saurin* in *Histoire de l'Académie des Sciences*, 1737, p. 159.

pouvons reconnaître, même après les remarques précédentes sur l'importance des éléments newtoniens en voie de progrès, l'exactitude de cette appréciation de Condorcet, estimant que « lorsque les *Eléments de la philosophie de Newton* parurent, le cartésianisme dominait encore, même dans l'Académie des Sciences de Paris. » (1)

(1) Les résistances éprouvées par Voltaire pour faire imprimer cet ouvrage sont caractéristiques à cet égard. « M. le chancelier, écrit-il à Thiriot, n'a pas cru devoir m'accorder le privilège des *Eléments de Newton;* peut-être dois-je lui en être obligé. Je traitais la philosophie de Descartes comme Descartes a traité celle d'Aristote... Je n'aurais eu que de nouveaux ennemis et je garderai pour moi les vérités que Newton et 's Gravesande m'ont apprises. »

OUVRAGES CITÉS (1)

Acta Eruditorum. — Leipzig.

Alexandre (Le P.). — *Traité du flux et reflux de la mer*, 1 vol. Paris, 1726.

Amontons. — *De la résistance causée dans les machines, tant par les frottements des parties qui les composent, que... etc.* (M. A. S., 1699.)

Anonyme. — *Conjectures sur la nature de la pesanteur.* (*Journal de Trévoux*, octobre 1702.)

— *Lettre d'un professeur de philosophie au R. P. Alexandre touchant son traité du flux et du reflux de la mer.* (Journal de Trévoux, avril 1728.)

Arcons. — *Traité du flux et du reflux*, 2e édit., 1 vol. Bordeaux, 1667.

Aubert (Le P.). — *Réponse à une difficulté proposée contre le système de Descartes sur le flux et le reflux de la mer.* (*Journal de Trévoux*, juillet 1717.)

— *Réponse au traité du flux et du reflux de la mer du P. Alexandre.* (*Journal de Trévoux*, nov. 1727.)

Bailly. — *Histoire de l'astronomie moderne*, 3 vol. Paris, 1778-1783.

Banière. — *Traité de la lumière et des couleurs*, 1 vol. Paris, 1737.

Bernoulli (Daniel). — *Disquisitiones physico-astronomicae*, 1 vol. in-4°. Paris, 1735.

Bernoulli (Jean). — *Discours sur les lois de la communication du mouvement*, 1 vol. in-4°. Paris, 1727.

— *Nouvelles pensées sur le système de Descartes et la manière d'en déduire les orbites et les aphélies des planètes*, 1 vol. in-4°, 1730.

— *Essai d'une nouvelle physique céleste servant à expliquer les principaux phénomènes du ciel et en particulier la cause physique de l'inclinaison des orbites des planètes par rapport au plan de l'équateur du soleil*, 1 vol. in-4°. Paris, 1735.

— *Opera omnia*, 4 vol. in-4°. Lausanne et Genève, 1742.

— *Commercium philosophicum et mathematicum*, 2 vol. in-4°. Lausanne et Genève, 1745.

Bernoulli (Jean II). — *Recherches physiques et géométriques sur la propagation de la lumière*, 1 vol. in-4°, 1736.

(1) Abréviations : M. A. S. = *Mémoires de l'Académie des Sciences.*

Bomie. — *Des forces centripètes et centrifuges considérées en général dans toutes sortes de courbes et en particulier dans le cercle.* (M. A. S., 1707.)

Bouguer. — *Sur le mouvement curviligne des corps dans les milieux qui se meuvent.* (M. A. S., 1731.)

— *Entretiens sur la cause de l'inclinaison des orbites des planètes.* 1 vol. in-4°. Paris, 1734.

Bouillet. — *Dissertation sur la cause de la pesanteur*, 1 vol. in-12. Bordeaux, 1720.

Bulffinger. — *De causa gravitatis physica generali disquisitio experimentalis*, 1 vol. in-4°. Paris, 1728.

Carré. — *Expériences sur les tuyaux capillaires.* (M. A. S., 1705.)

— *Des lois du mouvement.* (M. A. S., 1706.)

Cassini (Jean-Dominique). — *Comparaison des premières observations de la comète du mois d'avril* 1702 *faites à Rome et à Berlin.* (M. A. S., 1702.)

Cassini (Jacques). — *Du flux et du reflux de la mer.* (M. A. S., 1712.)

— *Réflexions sur de nouvelles observations du flux et du reflux de la mer, faites au port de Brest dans l'année* 1712. (M. A. S., 1713.)

— *Réflexions sur les observations des marées.* (M. A. S., 1713.)

— *De la figure de la terre.* (M. A. S., 1713.)

— *Réflexions sur de nouvelles observations des marées faites dans le port de Brest.* (M. A. S., 1714.)

— *Nouvelles découvertes sur les mouvements des satellites de Saturne.* (M. A. S., 1714.)

— *Observations nouvelles sur Saturne.* (M. A. S., 1715.)

— *Théorie du mouvement des satellites de Saturne.* (M. A. S., 1716.)

— *De la situation des nœuds des satellites de Saturne.* (M. A. S., 1717.)

— *De la grandeur de la terre et de sa figure.* (M. A. S., 1718.)

— *Réflexions sur les observations des marées faites au port de Lorient.* (M. A. S., 1720.)

— *De la grandeur et de la figure de la terre*, 1 vol. in-4°. Paris, 1722 (avec la date de 1720.)

— *Sur la théorie du mouvement des comètes.* (M. A. S., 1725.)

— *De la théorie des comètes.* (M. A. S., 1727.)

— *De la comète qui a commencé à paraître à la fin du mois de juillet* 1729. (M. A. S., 1729 et 1730.)

— *Du mouvement véritable des comètes à l'égard du soleil et de la terre.* (M. A. S., 1731.)

— *De l'inclinaison du plan de l'écliptique et de l'orbite des planètes par rapport à l'équateur de la révolution du soleil autour de son axe.* (M. A. S., 1734.)

— *De la révolution du soleil et des planètes autour de leur axe; et de la manière que l'on peut concilier, dans le système des tourbillons, la vitesse avec laquelle les planètes se meuvent à leur surface avec celle*

que l'éther ou le fluide qui les environne doit avoir suivant la règle de Képler. (M. A. S., 1735.)

— *De la manière de concilier, dans l'hypothèse des tourbillons, les deux règles de Képler.* (M. A. S., 1736.)

— *De la comète qui a paru aux mois de février, mars et avril* 1737. (M. A. S., 1737.)

Castel (Le P.). — *Traité de physique sur la pesanteur universelle des corps*, 2 vol. in-12, Paris, 1724.

— *Sur les Eléments de physique de 's Gravesande.* (*Journal de Trévoux*, mai et octobre 1721.)

Chauvin. — *Lexicon rationale seu thesaurus philosophicus*, 1 vol. in-fol. Rotterdam, 1692; 2e édition, Leuwarden, 1713.

Condorcet. — *Eloge de Frénicle.*

Crouzas. — *Dissertation sur les causes du ressort*, 1 vol. in-12. Bordeaux, 1721.

— *Discours sur le principe, la nature et la communication du mouvement*, 1 vol. in-4°. Paris, 1721.

D'Alembert. — *Discours préliminaire de l'Encyclopédie.*

— Article *Cartésianisme.*

— Article *Tourbillons.*

Daniel (Le P.). — *Voyage du monde de Descartes*, 1690-1696. Nouvelle édition, 2 vol. in-12. Paris, 1739.

Deslandes. — *Recueil de différents traités de physique*, 1 vol. in-8°. Paris, 1736.

Dionis du Séjour. — *Essai sur les phénomènes relatifs aux disparitions de l'anneau de Saturne*, 1 vol. in-8°. Paris, 1776.

Du Fay. — *Mémoires sur l'électricité.* (M. A. S., 1733, 1734 et 1737.)

Du Hamel. — *Regiae Scientiarum Academiae historia*, 1 vol. in-4°. Paris, 1701.

Fenoyl (Du). — *Discours, observations et démonstrations des véritables causes du flux et du reflux des mers*, 1706.

Fontenelle. — *Histoire de l'Académie des Sciences.*

— *Sur le choc des corps à ressort.* (M. A. S., 1723.)

— *Eloge de Saurin.*

— *Eloge de Malebranche.*

— *Eloge de Geoffroy.*

— *Eloge de Newton.*

— *Eloge de Rémond de Montmort.*

— *Eloge de Hartsoeker.*

— *Entretiens sur la pluralité des mondes*, 1 vol. Paris, 1686.

Gadrois. — *Système du monde*, 1 vol. in-12. Paris, 1675.

Gamaches (De). — *Système du mouvement*, 1 vol. in-12. Paris, 1721.

's Gravesande. — *Physices elementa mathematica, experimentis confirmata, sive Introductio ad philosophiam newtonianam*, 2 vol. in-4°. La Haye, 1720-1721; 2e édit., 1725; 3e édit., Leyde, 1742. Traduction française par De Joncourt, 2 vol. in-4°. Leyde, 1746; par Roland de Virloys, 2 vol. in-8°, Paris, 1747.

— *Philosophiae newtonianae institutiones in usus academicos*, 1 vol. in-12, Leyde, 1723; 2e édit., 1728; 3e édit. par Allamand, 1744; 4e édit. par Allamand, 1766.

— *Oratio de evidentia*, 1 vol. Leyde, 1724.

Grégory. — *Astronomiae physicae et geometricae elementa*, 1 vol. in-fol. Oxford, 1702; 2e éd. par Huart, 2 vol. in-4°. Genève, 1726.

Hartsoeker. — *Recueil de plusieurs pièces de physique, où l'on fait voir principalement l'invalidité du système de Newton*, 1 vol. Utrecht, 1722.

Huygens. — *Horologium oscillatorium*, 1 vol. in-fol. Paris, 1673.

— *Discours sur la cause de la pesanteur*, 1 vol. in-4°. Leyde, 1690.

Journal des Savants.

Journal de Trévoux, ou *Mémoires pour servir à l'histoire des sciences, arts et belles-lettres.*

Keill. — *Introductio ad veram physicam*, 1 vol. in-4°. Oxford, 1700; 2e édit., 1705; 3e édit. en anglais. Londres, 1729.

— *Introductio ad veram astronomiam seu lectiones astronomicae*, 1 vol. in-4°. Oxford, 1718.

La Hire (De). — *Observations d'une nouvelle comète... avec quelques remarques sur les comètes.* (M. A. S., 1702.)

Lalande. — *Bibliographie astronomique*, 1 vol. in-4°, Paris, An XI.

La Montre. — *Réflexion sur la solution d'une difficulté proposée contre le système cartésien de la pesanteur.* (*Journal de Trévoux*, mars 1703.)

Legendre de Saint-Aubin. — *Traité de l'opinion ou Mémoires pour servir à l'histoire de l'esprit humain*, 6 vol. in-12. Paris, 1733. (Paru sans nom d'auteur.)

Leibniz. — *Commercium philosophicum et mathematicum Leibnitii et Johan Bernoullii*, 2 vol. in-4°. Lausanne et Genève, 1745.

— Articles dans les *Acta Eruditorum*, 1689 et 1706.

L'Hôpital. — *Solution d'un problème physico-mathématique.* (M. A. S., 1700.)

Louville (De). — *Construction et théorie des tables du soleil.* (M. A. S., 1720.)

Mairan (Dortous de). — *Dissertation sur la cause de la lumière des phosphores et des noctiluques*, 1 vol. Bordeaux, 1715.

— *Recherches géométriques sur la diminution des degrés terrestres en allant de l'équateur vers les pôles...* (M. A. S., 1720.)

— *Recherches physico-mathématiques sur la réflexion des corps.* (M. A. S., 1722, 1723 et 1738.)

— *Dissertation astronomique sur le mouvement de la lune et de la*

terre, où l'on examine laquelle de ces deux planètes tourne autour de l'autre comme satellite. (M. A. S., 1727.)

— *Nouvelles conjectures sur la cause du mouvement diurne de la terre sur son axe d'occident en orient.* (M. A. S., 1729.)

— *Discours sur la propagation du son dans les différents tons qui le modifient.* (M. A. S., 1737.)

MALEBRANCHE. — *Réflexions sur la lumière et les couleurs.* (M. A. S., 1699.)

MARALDI. — *Découverte d'une nouvelle étoile qui paraît et disparaît en divers temps.* (M. A. S., 1706.)

— *Observation du retour de l'étoile changeante de l'Hydre.* (M. A. S., 1709.)

— *Du retour de l'étoile changeante qui est dans la constellation du Cygne.* (M. A. S., 1713.)

— *Observations sur la phase ronde de Saturne.* (M. A. S., 1715.)

— *Suite des observations sur l'anneau de Saturne.* (M. A. S., 1716.)

— *Observations sur l'étoile changeante de la Baleine.* (M. A. S., 1719.)

— *Observations et réflexions sur la comète qui a paru au mois d'octobre* 1723. (M. A. S., 1723.)

— *Sur la théorie du mouvement des comètes, comparée aux observations des années* 1707 *et* 1723. (M. A. S., 1725.)

MATHULON. — *Explications nouvelles des mouvements les plus considérables de l'Univers*, 1 vol. in-4°. Paris, 1723.

MAUPERTUIS. — *Sur les lois de l'attraction.* (M. A. S., 1732.)

— *Discours sur les différentes figures des astres, avec une exposition des systèmes de Descartes et Newton*, 1 vol. in-8°. Paris, 1732.

— *Sur les figures des corps célestes.* (M. A. S., 1734.)

— *Lettres*, 1 vol. in-12. 1752.

MAZIÈRE (Le P.). — *Les lois du choc des corps à ressort parfait ou imparfait déduites d'une explication probable de la cause physique du ressort*, 1 vol. in-4°. Paris, 1727.

— *Traité des petits tourbillons de la matière subtile*, 1 vol. in-4°. Paris, 1727.

MOLIÈRES (Privat DE). — *Explication physique et mécanique du choc des corps à ressort.* (M. A. S., 1726.)

— *Lois générales du mouvement dans le tourbillon sphérique.* (M. A. S., 1728.)

— *Problème physico-mathématique dont la solution tend à servir de réponse à une des objections de Newton contre la possibilité des tourbillons célestes.* (M. A. S., 1729.)

— *Les lois astronomiques des vitesses des planètes dans leurs orbes, expliquées mécaniquement dans le système du plein.* (M. A. S., 1733.)

— *Leçons de physique*, 4 vol. in-12. Paris, 1733-1739.

MUSSCHENBROEK. — *De certa methodo philosophiae experimentalis*, 1 vol. Utrecht, 1723.

NEWTON. — *Philosophiae naturalis principia mathematica*, 1687 ; 2e édit. par Côtès, 1713, trad. française par la Marquise du Châtelet, 2 vol. in-4°. Paris, 1756.

— *Optice*, 1704, trad. française par Coste, 2 vol. in-4°. Amsterdam, 1720 ; Paris, 1722.

Observations sur les écrits modernes.

PARENT. — *Conjectures sur la pesanteur et autres vertus sympathiques et élastiques.* (*Journal des Savants*, 1701.)

— *Essais et recherches de mathématiques et de physique*, 1 vol. Paris, 1703 ; 3 vol., Paris, 1713.

PETIT. — *Nouvelle hypothèse par laquelle on explique l'élévation des liqueurs dans les tuyaux capillaires et l'abaissement du mercure dans les mêmes tuyaux.* (M. A. S., 1724.)

PETIT. — *Traité de l'univers matériel, ou astronomie physique*, 1 vol. in-12. Paris, 1729.

POLENI. — *Dialogus de vorticibus coelestibus*, 1 vol in-4°. Padoue, 1712.

RAMEAU. — *Génération harmonique ou traité de musique théorique et pratique*, 1 vol. in-8°. Paris, 1737.

RÉGIS. — *Système de philosophie*, 3 vol. in-4°. Paris, 1690.

RÉGNAULT (Le P.). — *Entretiens physiques d'Ariste et d'Eudoxe, ou Physique nouvelle en dialogues*, 3 vol. in-12. Paris, 1729 ; 2e édit., 4 vol., Amsterdam, 1733.

RICCIOLI (Le P.). — *Almagestum novum*, 6 vol. in-fol. Rome, 1651.

RICHTER. — Article dans les *Acta Eruditorum*, 1724.

RIZETTI. — Article dans les *Acta Eruditorum*, 1724.

— *De luminis affectionibus*, 1 vol., 1727.

ROHAULT. — *Traité de physique*, 1671, 12e édit., 2 vol. in-12, Bruxelles, 1708.

SAULMON. — *Du mouvement d'un cylindre plongé dans un tourbillon cylindrique.* (M. A. S., 1712.)

— *Expériences sur des corps plongés dans un tourbillon.* (M. A. S., 1714.)

— *Des corps plongés dans un tourbillon.* (M. A. S., 1715.)

— *De la courbure du tourbillon cylindroïde.* (M. A. S., 1715.)

— *Expériences faites dans un tourbillon cylindroïde.* (M. A. S., 1716.)

— *Suite du tourbillon cylindroïque.* (M. A. S., 1716.)

— *Du choc des corps dont le ressort est parfait.* (M. A. S., 1721.)

SAURIN. — *Examen d'une difficulté considérable proposée par M. Huygens contre le système cartésien sur la cause de la pesanteur.* (M. A. S., 1709.)

— *Solution d'une difficulté proposée contre l'explication cartésienne de la pesanteur.* (*Journal des Savants*, janvier 1703.)

SCALBERGE MINIÈRE. — *Traité du flux et du reflux*, 1 vol. Chartres, 1680.

SÉNAC. — *Nouveau cours de chimie, suivant les principes de Newton et de Stahl*, 2 vol. in-12. Paris, 1723 (paru sans nom d'auteur) ; 2e édit., Paris, 1737.

VARIGNON. — *Du mouvement en général par toutes sortes de courbes, et des forces centrales, tant centrifuges que centripètes, nécessaires aux corps qui les décrivent.* (M. A. S., 1700.)

— *Des forces centrales ou des pesanteurs nécessaires aux planètes pour faire décrire les orbes qu'on leur a supposés jusqu'ici.* (M.A.S., 1700.)

— *Autre règle générale des forces centrales, avec une manière d'en déduire et d'en trouver une infinité d'autres à la fois.* (M. A. S., 1701.)

— *Des courbes décrites par le concours de tant de forces centrales qu'on voudra, placées à discrétion entre elles et par rapport aux plans de ces mêmes courbes.* (M. A. S., 1703.)

— *Manière de discerner les vitesses des corps mus en lignes courbes; de trouver la nature ou l'équation de quelque courbe que ce soit, engendrée par le concours de deux mouvements connus; et, réciproquement, de déterminer une infinité de vitesses propres deux à deux à engendrer ainsi telle courbe qu'on voudra, et même telle vitesse qu'on voudra, suivant cette courbe.* (M. A. S., 1704.)

— *Du mouvement des planètes sur leurs orbes en y comprenant le mouvement de l'apogée ou de l'aphélie.* (M. A. S., 1705.)

— *Comparaison des forces centrales avec les pesanteurs absolues des corps mûs de vitesses variées à discrétion le long de telles courbes qu'on voudra.* (M. A. S., 1706.)

VILLEMOT. — *Nouveau système ou nouvelle explication du mouvement des planètes*, 1 vol. in-12. Lyon, 1707.

VOLTAIRE. — *Lettres anglaises*, 1 vol. in-8°. Londres, 1733.

A CONSULTER

Sur l'influence de Newton en chimie :

H. METZGER. — *Newton, Stahl, Boerhaave et la doctrine chimique*, 1 vol. in-8°. Paris, 1930.

Sur Newton et les théories newtoniennes :

Léon BLOCH. — *La philosophie de Newton*, 1 vol. in-8°. Paris, 1908.

ROSENBERGER. — *Isaac Newton und seine physikalische Principien*, 1 vol. Leipzig, 1895.

Léon BRUNSCHVICG. — *Les étapes de la philosophie mathématique*, 1 vol. in-8°. Paris, 1912.

— *L'expérience humaine et la causalité physique*, 1 vol. in-8°. Paris, 1922.

MEYERSON. — *Identité et réalité.* Appendice Ier : *Leibniz, Newton et l'action à distance*, 1 vol. in-8°. 2e édit., Paris, 1912.

TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE PREMIER

Les premières influences et la résistance cartésienne (1700-1720)

CHAPITRE II

Les préliminaires du débat (1720-1728)

CHAPITRE III

L'effort des grands cartésiens
(1728-1732)

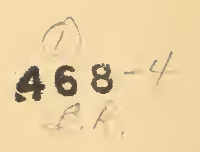
CHAPITRE IV

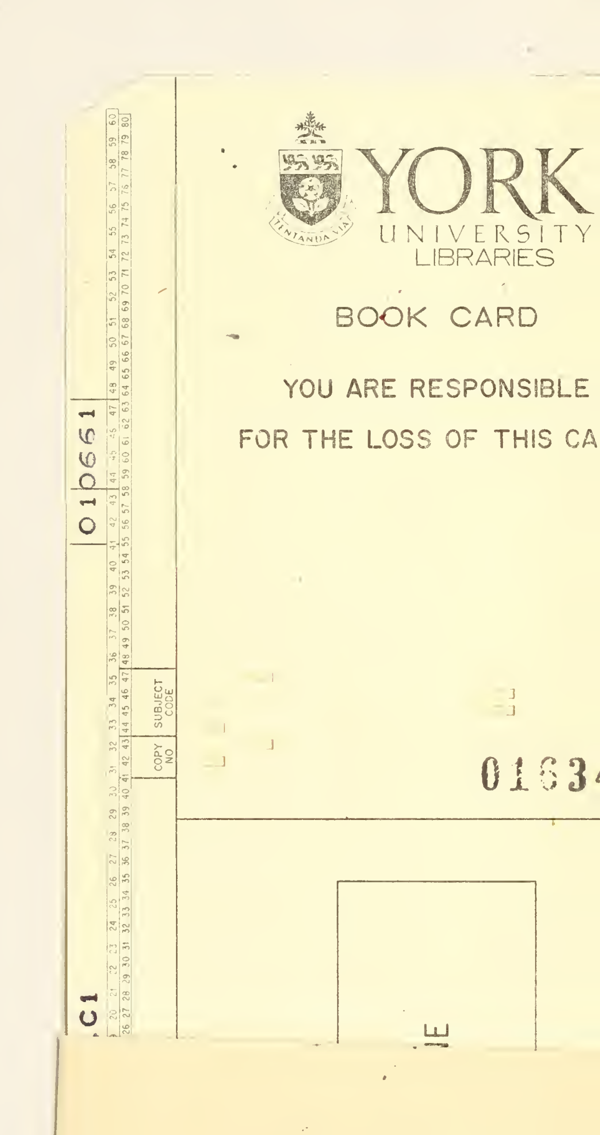
Les premiers travaux newtoniens
(1732-1734)

CHAPITRE V

La préparation des grandes controverses (1735-1737)

SCEAUX. — IMPRIMERIE MARCEL BRY. — 1931.


468-4



YORK
UNIVERSITY
LIBRARIES
BOOK CARD
YOU ARE RESPONSIBLE
FOR THE LOSS OF THIS CA
010661
SUBJECT CODE
COPY NO
0163

